

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-156709

(43)Date of publication of application : 30.05.2003

---

(51)Int.Cl. G02B 27/09  
G02B 5/04  
H05H 1/24  
// G21K 1/00  
H05H 15/00

---

(21)Application number : 2001-354200

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 20.11.2001

(72)Inventor : HASHIMOTO KIYOSHI

---

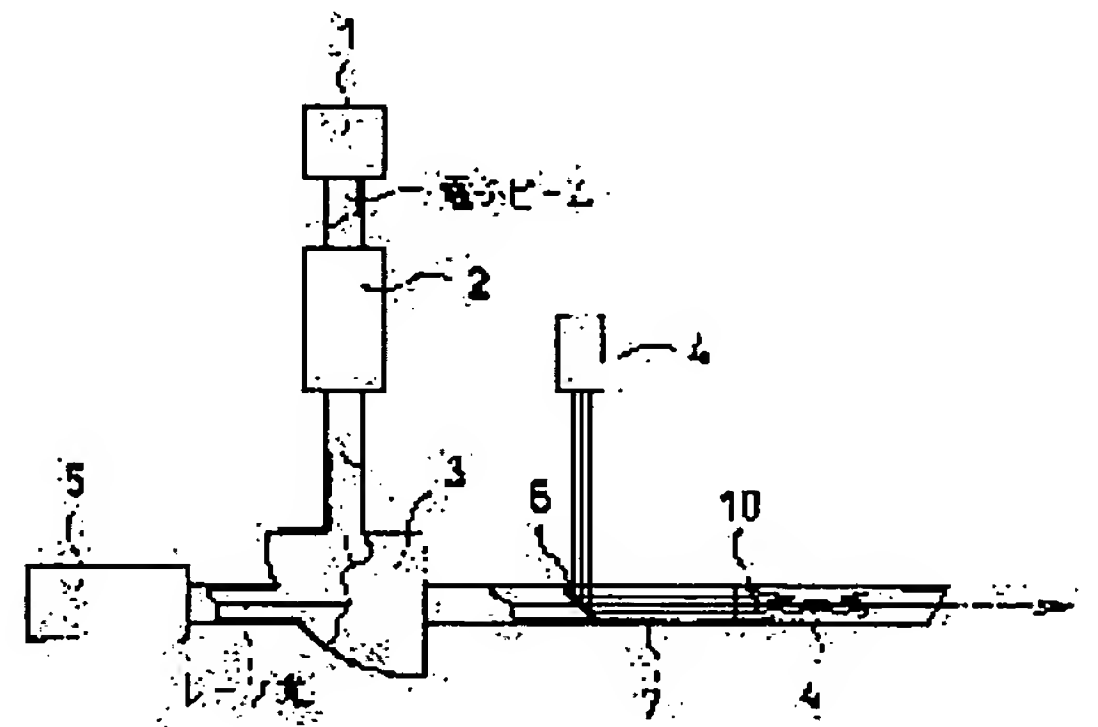
(54) LASER BEAM DEVICE

---

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To prevent the occurrence of interference on an optical axis with simple constitution.

SOLUTION: A thin-film member 11 is deposited on the counter surface of an incident surface B of a prism 10. An optical path difference of a half wavelength is formed between a laser beam transmitted through this thin-film member 11 and a laser beam past a region 12 where the thin-film member 11 is not deposited. As a result, the occurrence of the interference on the optical axis is averted.



---

LEGAL STATUS

---

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

**\* NOTICES \***

**JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

[Claim(s)]

[Claim 1] By carrying out incidence of the laser beam from the plane of incidence of the approximately cylindrical prism with which the outgoing radiation side was formed in the cone or the truncated-cone configuration, and carrying out outgoing radiation from said outgoing radiation side In the laser beam equipment which comes to give energy to laser beam irradiated members, such as a photopolymer and ionized gas-ed, with the energy density according to the interference fringe concerned as a laser beam forms the interference fringe of the shape of a cylinder centering on an optical axis By producing the optical path difference between the laser beam which passes through the field in which optical-path-difference means forming was prepared in the predetermined field of said prism which a laser beam passes, and the optical-path-difference means forming concerned was prepared, and the laser beam which passes through fields other than this field Laser beam equipment characterized by forming an interference fringe on an optical axis.

[Claim 2] Laser beam equipment according to claim 1 characterized by being formed when said optical-path-difference means forming puts a thin film member on a part of plane of incidence in said prism.

[Claim 3] Laser beam equipment according to claim 1 characterized by forming said optical-path-difference means forming of the disc-like transparenence member and the thin film member put on this transparenence member.

[Claim 4] For the refractive index which said cylindrical prism has, said prism is laser beam equipment according to claim 2 or 3 characterized by being the member which has a different refractive index.

[Claim 5] Laser beam equipment according to claim 1 characterized by said optical-path-difference means forming being the level difference prepared in a part of plane of incidence in said prism.

[Claim 6] Claim 2 characterized by being prepared by turns so that these may be odd diploid numbers and may carry out the division-into-equal-parts rate of said plane of incidence, while said thin film member or level difference is formed in the flabellate form centering on an optical axis thru/or laser beam equipment given in 5 any 1 terms.

[Claim 7] Laser beam equipment according to claim 1 characterized by said optical-path-difference means forming being the transparenence member of the shape of the semicircle board which set up thickness so that it might be equivalent to the half-wave length of a laser beam.

[Claim 8] Laser beam equipment according to claim 1 characterized by the spiral-like inclined plane forming the plane of incidence of said prism so that a level difference equal to the half-wave length of a laser beam may be made, if said optical-path-difference means forming takes 1 round for the surroundings of an optical axis.

[Claim 9] Claim 1 characterized by preparing a through tube in the optical axis of said prism thru/or laser beam equipment given in 8.any 1 terms.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

**JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the laser beam equipment used in generating of the track place used for formation of the optical waveguide (optical guiding) of the micro-machining which is made to expose a photopolymer and forms various moldings, or a relativistic electron beam accelerator etc.

[0002]

[Description of the Prior Art] A detailed pattern and the pattern which is a configuration variously are easily obtained by what laser forms an interference fringe for.

[0003] For this reason, laser beam equipment is used in fields, such as micro-machining molded by making various configurations expose a photopolymer using this interference property etc.

[0004] Moreover, laser beam equipment excites the plasma by laser, and is used for the accelerator of the relativistic electron beam which accelerates an electron using the track place generated in that case etc.

[0005] In order to accelerate a charged particle generally, in order to generate electric field efficiently in that case, the track place is used that what is necessary is just to place the charged particle concerned all over electric field. The outline is as follows although it will be detailed about the acceleration principle by the track place in the work: micro accelerator edited by Sugihara, Nishida, and Ogata, IPC (Tokyo), and 1998, for example.

[0006] If the plasma is generated with laser, a plasma wave will occur back and a track place will be produced. The method of accelerating an electron for an electron by acceleration, i.e., a track place, using the acceleration phase of this plasma wave is track place acceleration.

[0007] Since big acceleration electric field will be obtained if a track place is used, it is expected as a technique which can miniaturize an accelerator sharply. For example, although the acceleration inclination which is the energy gain per unit length of an accelerator is about 100 MeV/m extent in a microwave cavity method, if a track place is used, it is supposed that number GeV/m - dozens GeV/m extent is obtained.

[0008] The outline configuration of the relativistic electron beam accelerator using such a laser excitation track place is shown and explained to drawing 10.

[0009] After being accelerated by the microwave cavity 102, the sense is changed with the deviation magnet 103 and incidence of the electron pulled out from the electron gun 101 by drawing 10 is carried out to the plasma acceleration section 104 with which the plasma was filled.

[0010] The laser beam from the laser oscillation machine 105 carries out incidence, by the laser beam concerned, the ionized gas-ed in the plasma acceleration section 104 is excited by the plasma acceleration section 104, and plasma-izes in it, and a track place occurs in it. And an electron is accelerated by this track place in response to the force.

[0011] In order to obtain a high-speed electron at this time, it must become important how ionized gas-ed is excited efficiently and the track place of high electric field is generated or what the interaction of an electron and the track place is carried out over a long time, and excitation conditions must be set up so that this demand may be filled.

[0012] That is, in order to obtain high electric field, it being necessary to strengthen laser reinforcement and converging a laser beam using a lens etc. for this reason is performed, but since that angle of divergence becomes larger as a laser beam is extracted to a small spot, the field where the laser reinforcement in the direction of an optical axis is strong will become short.

[0013] Therefore, even if it generates a big track place partially, the acceleration energy with which it can become difficult to generate it over long duration will also become small.

[0014] From such a viewpoint, the refractive index near [ through which a laser beam passes ] the optical



axis of an optical path is enlarged, and the approach of forming the optical waveguide (optical guiding) which followed the light guide principle in an optical fiber by making a refractive index small is proposed as it separates from the optical axis concerned (as it goes on the outskirts).

[0015] Generally, if angular frequency of a laser beam is set to  $\omega$  and a refractive index is set to  $N$ , a bottom type will be realized between the plasma consistencies  $n$ .

$N = [1 - (\omega_p / \omega)^2]^{1/2}$  -- (formula 1)

$\omega_p = [(n \cdot e^2) / (\epsilon_0 \cdot m)]^{1/2}$  -- (formula 2)

here --  $\omega_p$  -- plasma angular frequency and  $e$  -- base -- the dielectric constant of vacuum and  $m$  of a charge and  $\epsilon_0$  are electron rest masses.

[0016] Since plasma angular-frequency  $\omega_p$  will become large if the plasma consistency  $n$  increases, these formulas 1 and a formula 2 show that a refractive index  $N$  becomes small.

[0017] Therefore, it becomes possible to form optical waveguide of what the plasma consistency of an optical-axis part is made small (a refractive index is enlarged), and the plasma consistency of a circumference part is enlarged for (a refractive index is made small), and to suppress emission of laser.

[0018] As an approach of making the plasma density distribution of such a condition, Suzuki etc. has proposed the approach using interference and resonance ionization of a laser beam (035 Suzuki and Ikehata:JAERI-Research 95- 1995).

[0019] The outline configuration of proposed approaches, such as Suzuki, is shown in drawing 11 (a). By this approach, the ionized gas 110-ed for forming the plasma in the field through which an electron beam (electron for accelerating) passes is supplied. In drawing 11 (a), the cylinder of a dotted line shows the field to which the ionized gas 110-ed concerned is supplied.

[0020] And the interference fringe 111 of the shape of a rectangle as made reflect the laser beam 107 which arranged two or more total reflection mirrors 108 and transfective mirrors 109 around this field, and was extended in the shape of a sheet from the laser oscillation machine 106 and shown in drawing 11 (b) is formed, and ionized gas 110-ed is excited by the energy distribution according to the pattern of the interference fringe 111 concerned.

[0021] In addition, drawing 11 (b) is drawing having shown typically the interference fringe 111 formed in the field A concerned when the field A at which a laser beam crosses [ of an electron beam ] from rectilinear propagation was seen, and the slash field shows the generating field (field where a consistency is high) of the plasma.

[0022] However, with this configuration, there is a problem to which the fall of laser reinforcement arises in order to extend and use the oscillated laser beam for the sheet-like laser beam 107, and they cannot make energy use effectiveness of a laser beam high since that width of face and depth are short.

[0023] Moreover, in order to form an interference fringe 111, many optical elements, such as a mirror, are used, but since it is necessary to adjust these optical-axis doubling in the precision of about 10 micrometers, they have the problem from which a prudent setup and adjustment are needed and workability starts an optical-axis gap etc. easily bad.

[0024] In order to cope with such a problem, use of the optical element called the axicon which can enlarge plasma reinforcement of an optical-axis part is proposed by carrying out incidence of the laser beam from the shaft orientations of an electron beam, forming optical waveguide, and raising the energy use effectiveness of a laser beam by choosing the relaxation length of a laser beam, and the die length of optical waveguide to the same extent, and using interference of a laser beam.

[0025] Drawing 12 is the perspective view of this axicon 113, and drawing 13 is drawing showing the interference condition of the laser beam when using this axicon. In addition, drawing 13 (a) shows the formation situation of an interference fringe 115, and drawing 13 (b) shows the situation of the interference fringe 115 concerned seen from the optical axis.

[0026] Plane of incidence B is formed in a flat surface, and, as for the axicon 113 concerned, the outgoing radiation side C is formed in the truncated-cone configuration. Moreover, the flat part E which irregularity is prepared in the outgoing radiation side C concerned, and light does not pass is formed.

[0027] The laser beam 114 which carried out incidence in parallel with an optical axis with such a configuration is deflected in the direction of an optical axis in respect of [ C ] outgoing radiation, and the cylindrical interference fringe 115 of axial symmetry generates it. At this time, an interference fringe is formed also in the direction in alignment with an optical axis, and the die length  $L_1$  of those shaft orientations turns into the die length of the field where the light deflected like drawing 13 (a) crosses.

[0028] Then, about the diameter of the laser beam which carries out incidence, if the tilt angle of D1 and the outgoing radiation side C is set to  $\alpha$  and angle of refraction is set to  $r$ , the incident angle  $\beta$  from an

axicon 113 to a vacuum side will become equal to the tilt angle  $\alpha$  ( $\beta=\alpha$ ).

[0029] Therefore, when the wavelength of a laser beam is  $\lambda$ , the spacing  $d$  of an interference fringe 115 is  $d=\lambda/(2\sin(\gamma))$ . -- (formula 3)

It becomes.

[0030] Here,  $\gamma$  is called a crossed axes angle at the include angle of an optical axis and the deflected laser beam, and the following approximation target is realized between the refractive indexes  $M$  of an axicon 113.

$\gamma=\beta*(M-1)$  -- (formula 4)

[0031] For example, an axicon 113 is formed with synthetic quartz, the refractive index  $M$  is [ the wavelength  $\lambda$  of  $M=1.46$  and a laser beam ]  $\lambda=442\text{nm}$ , and if the tilt angle  $\alpha$  considers as  $\alpha=3.2$  degrees, the spacing  $d$  of an interference fringe will be set to  $d=17$  micrometers. Moreover, if the tilt angle  $\alpha$  is made into  $\alpha=0.54$  degrees, the spacing  $d$  of an interference fringe will be set to  $d=100$  micrometers.

[0032] therefore, a track place forms with the plasma by the interference fringe which optical waveguide was formed with the plasma by the interference fringe formed in the direction perpendicular to an optical axis, and was formed in accordance with the optical axis -- having -- these -- at once -- and it becomes available, without needing tuning etc.

[0033]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, since the laser beam for generating the plasma of optical waveguide and a track place using the axicon 113 of the above-mentioned configuration is a property different generally, it is difficult to generate these at once by the same laser beam.

[0034] For this reason, although it is possible to generate each plasma using a separate laser beam, the laser beam for optical waveguide formation and the laser beam for track place formation may interfere on an optical axis in this case.

[0035] In case the pattern of a concentric circle is formed by micro-machining, he wants to, remove the interference fringe of an optical-axis part on the other hand, but when the axicon 113 mentioned above is used, there is un-arranging [ for which an interference fringe will be formed also in an optical axis ] (refer to drawing 13 (b)).

[0036] Then, it aims at offering the high laser beam equipment of convenience on an optical axis, as an interference fringe does not arise while making it these not interfere in it, even if the laser beam for optical waveguide formation and the laser beam for track place formation are used for this invention with a simple configuration.

[0037]

[Means for Solving the Problem] In order to solve the above-mentioned technical problem, invention concerning claim 1 By carrying out incidence of the laser beam from the plane of incidence of the approximately cylindrical prism with which the outgoing radiation side was formed in the cone or the truncated-cone configuration, and carrying out outgoing radiation from an outgoing radiation side In the laser beam equipment which comes to give energy to laser beam irradiated members, such as a photopolymer and ionized gas-ed, with the energy density according to the interference fringe concerned as a laser beam forms the interference fringe of the shape of a cylinder centering on an optical axis By producing the optical path difference between the laser beam which passes through the field in which optical-path-difference means forming was prepared in the predetermined field of the prism which a laser beam passes, and the optical-path-difference means forming concerned was prepared, and the laser beam which passes through fields other than this field It is characterized by forming an interference fringe on an optical axis.

[0038] Invention concerning claim 2 is characterized by being formed when optical-path-difference means forming puts a thin film member on a part of plane of incidence in prism.

[0039] Invention concerning claim 3 is characterized by forming optical-path-difference means forming of the disc-like transparence member and the thin film member put on this transparence member.

[0040] Invention concerning claim 4 is characterized by prism being a member which has the refractive index from which the refractive index which cylindrical prism has differs.

[0041] Invention concerning claim 5 is characterized by optical-path-difference means forming being the level difference prepared in a part of plane of incidence in prism.

[0042] Invention concerning claim 6 is characterized by being prepared by turns so that these may be odd diploid numbers and may carry out the division-into-equal-parts rate of the plane of incidence while a thin film member or a level difference is formed in the flabellate form centering on an optical axis.



[0043] Invention concerning claim 7 is characterized by optical-path-difference means forming being the transference member of the shape of the semicircle board which set up thickness so that it might be equivalent to the half-wave length of a laser beam.

[0044] Invention concerning claim 8 will be characterized by the spiral-like inclined plane forming the plane of incidence of prism so that a level difference equal to the half-wave length of a laser beam may be made, if optical-path-difference means forming makes it the surroundings of an optical axis 1 round.

[0045] Invention concerning claim 9 is characterized by preparing a through tube in the optical axis of prism.

[0046]

[Embodiment of the Invention] The gestalt of operation of the 1st of this invention is explained with reference to drawing. Drawing 1 is drawing showing the outline configuration of the track place electron accelerator which applied the laser beam equipment concerning this invention.

[0047] Of course, it cannot be overemphasized that it does not become requirements to apply the laser beam equipment concerning this invention to an electron accelerator, and it can apply to various fields, such as micro-machining.

[0048] The track place electron accelerator shown in drawing 1 An electron The electron beam from the electron gun 1 which is made to generate and carries out outgoing radiation, and the electron gun 1 concerned The RF cavity 2 and electron beam to accelerate The deviation magnet 3 and optical waveguide to deflect The laser for making it generate The laser from the laser oscillation machine 5 for track places, and the laser oscillation machine 4 for waveguides which carries out outgoing radiation of the laser beam for generating the laser oscillation machine 4 for waveguides and track place which carry out outgoing radiation so that it may become the same optical axis as the laser from the laser oscillation machine 5 for track places It has the prism 10 grade arranged by the mirror 6 to reflect, the track place accelerator 7 with which an electron beam is accelerated by the track place, and the track place accelerator 7.

[0049] In addition, a through tube is prepared in a mirror 6 and the central part of prism 10, and an electron beam etc. can be passed now into them.

[0050] However, in not using an electron beam etc. like micro-machining, the through tube concerned becomes unnecessary.

[0051] Moreover, ionized gas-ed is filled by the track place accelerator 7 according to the gas supply system which is not illustrated.

[0052] And the electron beam pulled out from the electron gun 1 passes the through tube which was accelerated by the RF cavity 2, could change the direction with the deviation magnet 3, and was prepared in a mirror 6 and prism 10, and it carries out incidence to the track place accelerator 4.

[0053] Moreover, the laser beam from the laser oscillation machine 5 for track places passes a mirror 6 in accordance with an electron beam, it carries out incidence to prism 10, and it carries out incidence to the track place accelerator 4.

[0054] On the other hand, it is reflected by the mirror 6, and incidence of the laser beam from the laser oscillation machine 4 for waveguides is carried out to prism 10 in accordance with an electron beam, and it carries out incidence to the track place accelerator 4.

[0055] While the plane of incidence B of a laser beam is formed in a flat surface as prism 10 is shown in drawing 2 , and the outgoing radiation side C is formed in a conical surface, the through tube 13 is formed in the core.

[0056] Moreover, the thin film member 11 is formed in the semicircle section of plane of incidence B by approaches, such as coating and adhesion, and the optical path difference of the half-wave length arises between the laser beams which carried out incidence to the unarrived part 12.

[0057] In addition, if it is unlike the refractive index which carries out [ laser beam ] and prism 10 has as a thin film member 11, it is good anything.

[0058] That is, supposing the wavelength of a laser beam was manufactured by 442nm and prism 10 was manufactured with the ingredient of a refractive index 1.5, for example, when this thin film member 11 is manufactured with the ingredient of a refractive index 1.62, it becomes the thickness of about 30 micrometers. In addition, generally each glass material which has the refractive index mentioned as the above-mentioned example can come to hand.

[0059] When outgoing radiation of the laser beam which has the phase contrast of 180 degrees in a circumferencial direction by this is carried out, the phase contrast of the half-wave length arising mutually, and causing interference of it on an optical axis is lost, and as shown in drawing 3 (b), the interference fringe 115 shown in drawing 13 (b) and the interference fringe 14 of the pattern which light and darkness reversed

are obtained.

[0060] Therefore, while the plasma used for generating with optical waveguide and a track place can be generated to coincidence and these generation conditions can set up independently, without generating interference with an optical axis even if it uses a separate laser beam, the track place electron accelerator in which high acceleration is possible can be constituted easily highly [ operability ].

[0061] Moreover, if the laser beam from the laser oscillation machine for tracks mentioned above is stopped in case the pattern of a concentric circle is formed by micro-machining, the pattern of the concentric circle configuration except an optical-axis part can be formed now, it can respond easily also to the demand which wants to remove the interference fringe of an optical-axis part, and convenience will improve remarkably.

[0062] In addition, although the thin film member 11 was formed in the semicircle section of plane of incidence B, this invention is not limited to this, and as shown in drawing 4 , it may be carried out comparatively for 6 minutes that what is necessary is just odd diploid numbers (it is semantics twice the number of odd number).

[0063] Next, the gestalt of operation of the 2nd of this invention is explained with reference to drawing. In addition, about the same configuration as the gestalt of the above-mentioned implementation, explanation is suitably omitted using the same sign.

[0064] With the gestalt of previous operation, the optical path difference was generated between the laser beams which form the thin film member 11 in the plane of incidence B of prism 10 by coating, adhesion, etc., and pass the non-vapor-deposited part 12.

[0065] However, the method of generating the optical path difference may not be limited to the approach coating, adhesion, etc. carry out the thin film member 11, but in this way, as shown in drawing 5 - drawing 7 , it may change the configuration of prism 10, and as shown in drawing 8 and drawing 9 , it may arrange the transparence plate with which the thin film member 11 was carried out for coating, adhesion, etc. before plane of incidence B.

[0066] The prism 10 shown in drawing 5 is what formed the step-like level difference 15 in the semicircle section of plane of incidence B, and the height of this level difference 15 is set as the height which the optical path difference of the half-wave length generates. Therefore, the phase contrast of the half-wave length carrying out raw to the laser beam which carried out outgoing radiation from the prism 10 concerned, and causing interference on an optical axis is lost.

[0067] In addition, as a level difference 15, when wavelength of a laser beam is set to about 442nm, for example, about 0.5 micrometers can be illustrated.

[0068] That are arbitrary and what is necessary is just odd diploid numbers, division of the field which gives a level difference 15 also in this case may be comparatively carried out for 6 minutes, as shown in drawing 6 .

[0069] Instead of preparing a step-like level difference, a configuration is what made plane of incidence B the inclined plane of a spiral, and it is set as drawing 7 so that the height of the level difference 16 produced when it rotates 360 degrees may become the half-wave length.

[0070] On the other hand, drawing 8 is what approached the plane of incidence B of prism 10, and has arranged the transparence plate 17, and the field where the thin film member 11 was carried out for coating, adhesion, etc., and coating and the field which has not been pasted up are formed in the transparence plate 17 concerned by turns.

[0071] Although field division in this case can also be performed to arbitration, things cannot be overemphasized that what is necessary is just odd diploid numbers.

[0072] Moreover, drawing 9 is what approached the plane of incidence B of prism 10, and has arranged the semicircle-like transparence plate 18, and it is set up so that the thickness of the transparence plate 18 concerned may become the half-wave length of a laser beam.

[0073] It becomes possible to acquire the same effectiveness as the gestalt of the 1st operation also by such configuration.

[0074]

[Effect of the Invention] As explained above, according to this invention, optical-path-difference means forming is prepared in the predetermined field of prism. Since it was made for these laser beams not to form an interference fringe on an optical axis by producing the optical path difference between the laser beam which passes through the field in which the optical-path-difference means forming concerned was prepared, and the laser beam which passes through fields other than this field While it becomes possible to generate the plasma for optical waveguide and track places to coincidence and it comes to be able to carry out an independent setup of these laser beams, without generating interference with an optical axis even if it uses a

separate laser beam The track place electron accelerator in which high acceleration is possible can be easily constituted now highly [ operability ].

[0075] Moreover, if the laser beam from the laser oscillation machine for tracks is stopped in case the pattern of a concentric circle is formed by micro-machining, the pattern of the concentric circle configuration except an optical-axis part can be formed now, it can respond also to the demand which wants to remove the interference fringe of an optical-axis part easily, and convenience will improve remarkably.

---

[Translation done.]



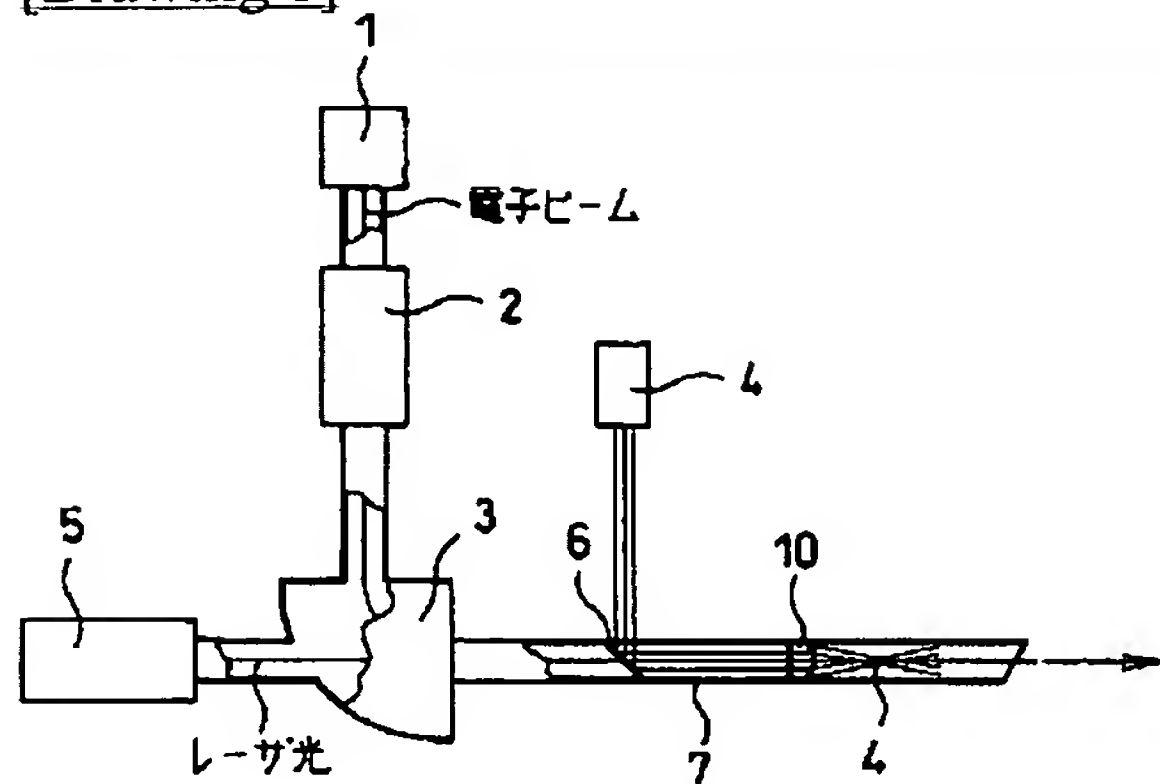
## \* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

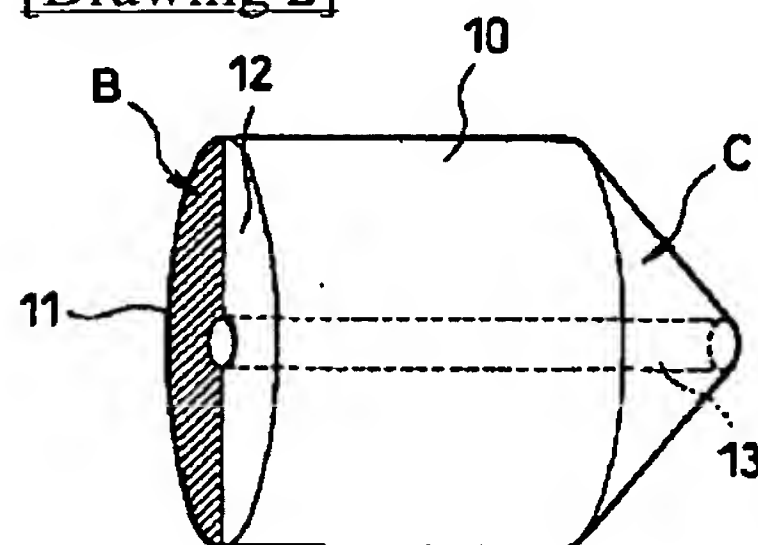
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

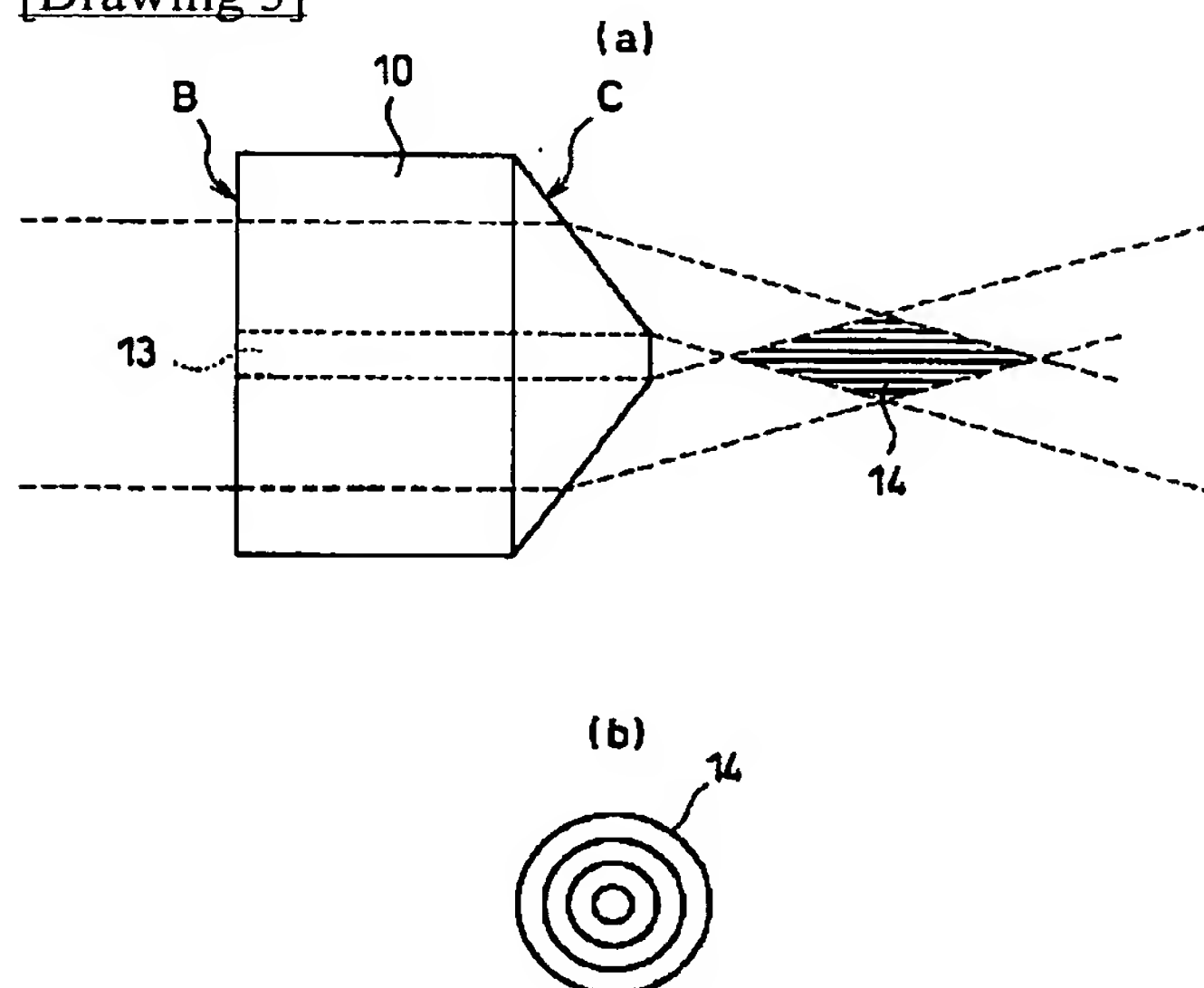
[Drawing 1]



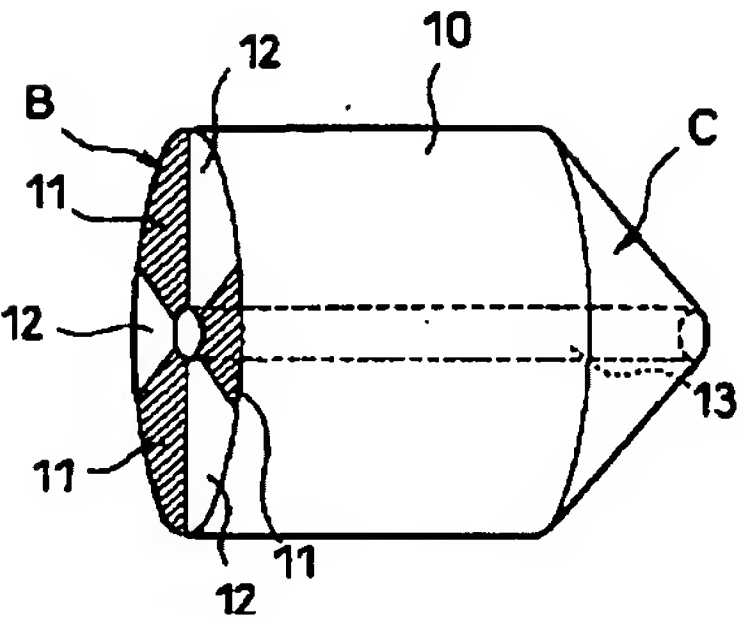
[Drawing 2]



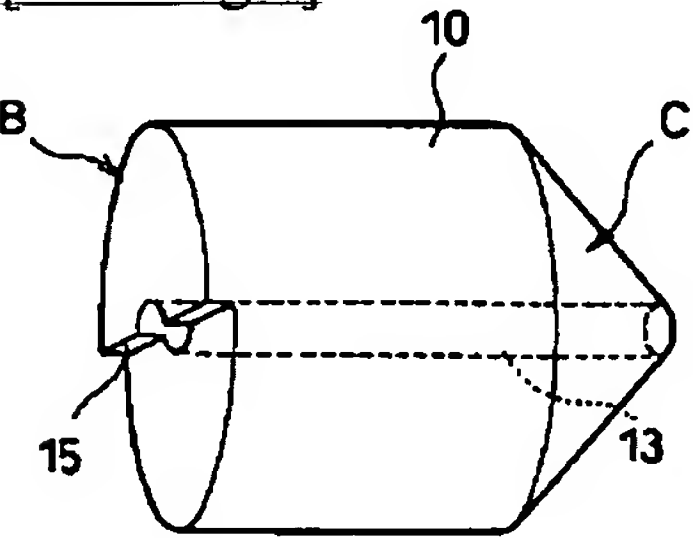
[Drawing 3]



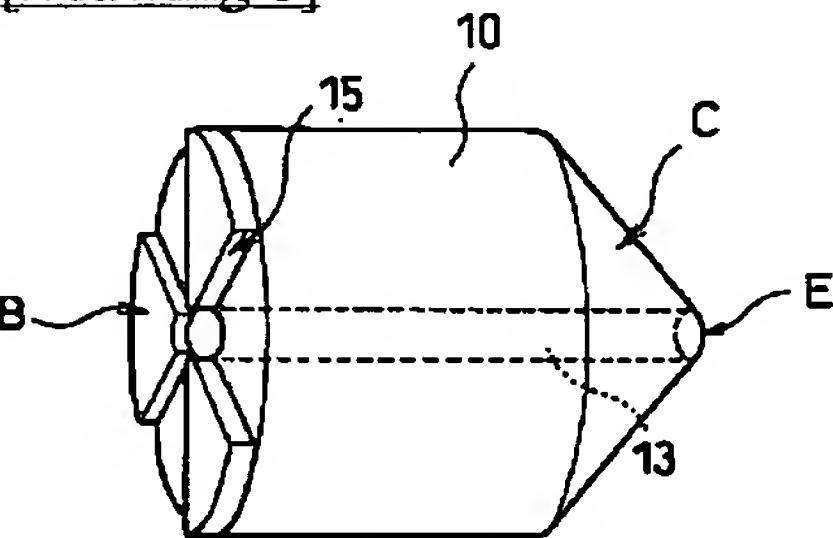
[Drawing 4]



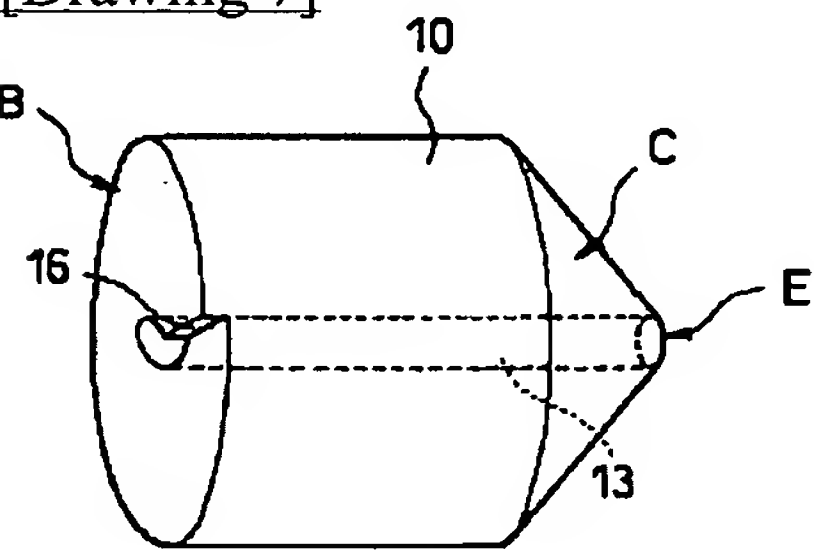
[Drawing 5]



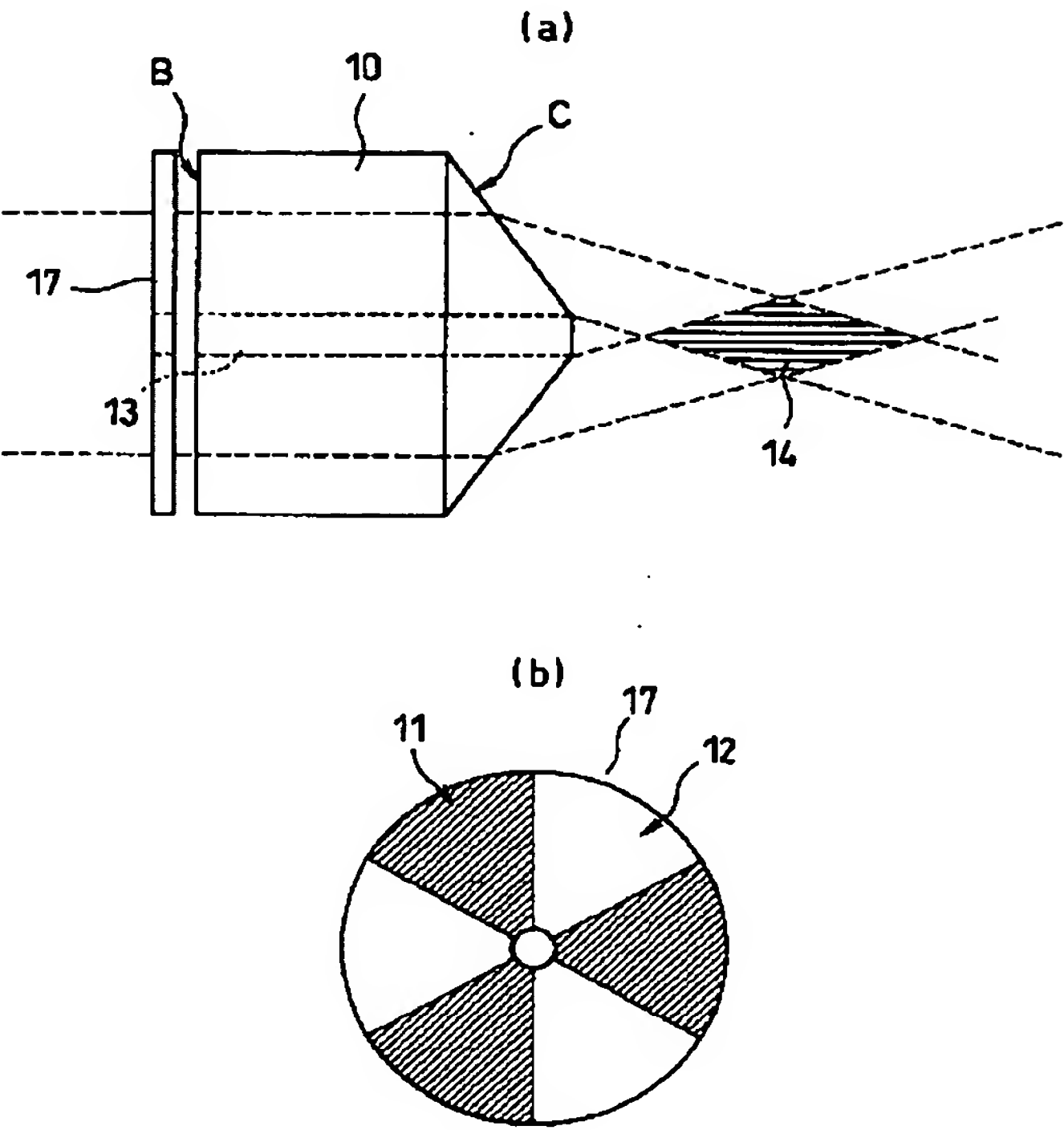
[Drawing 6]



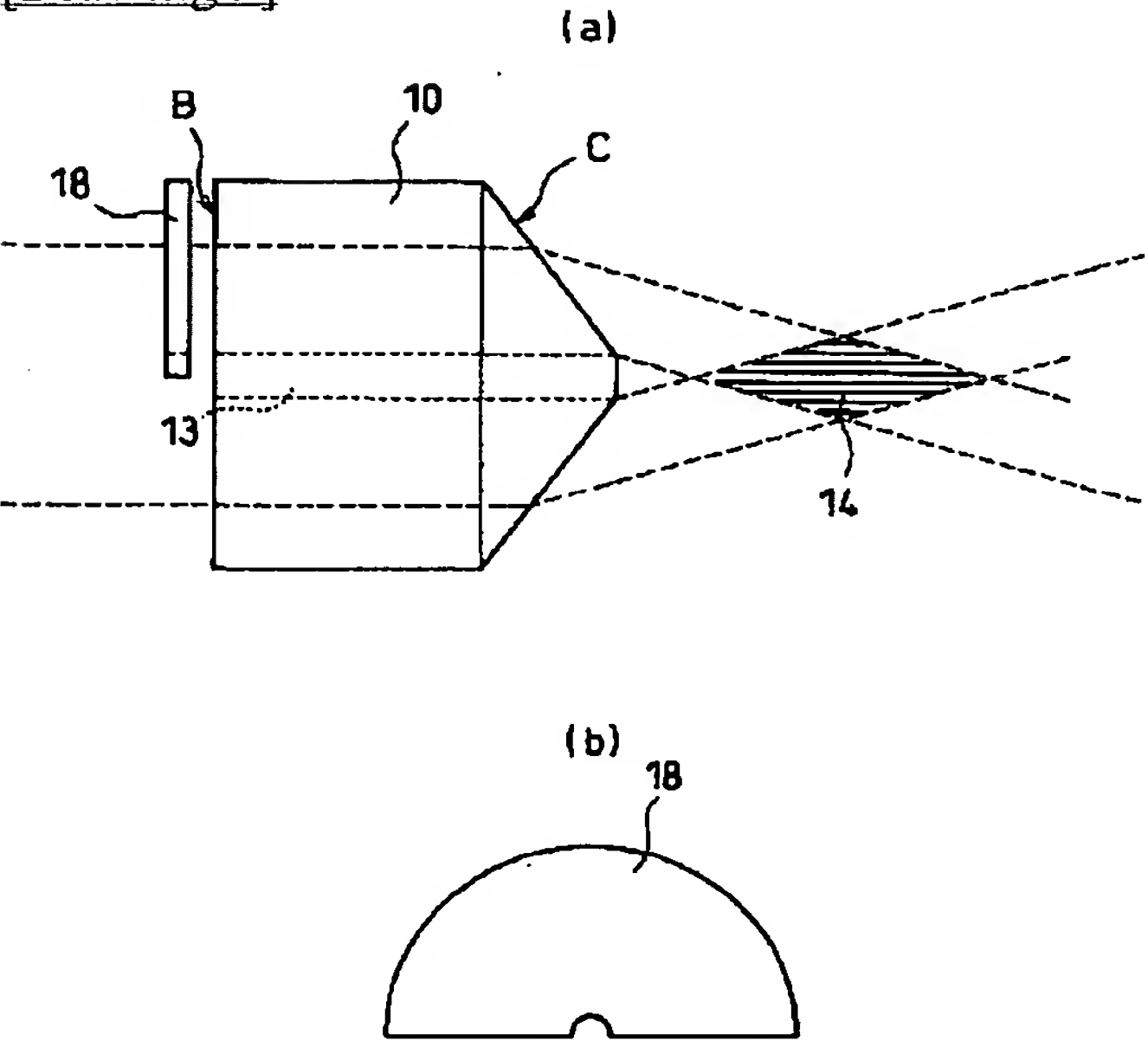
[Drawing 7]



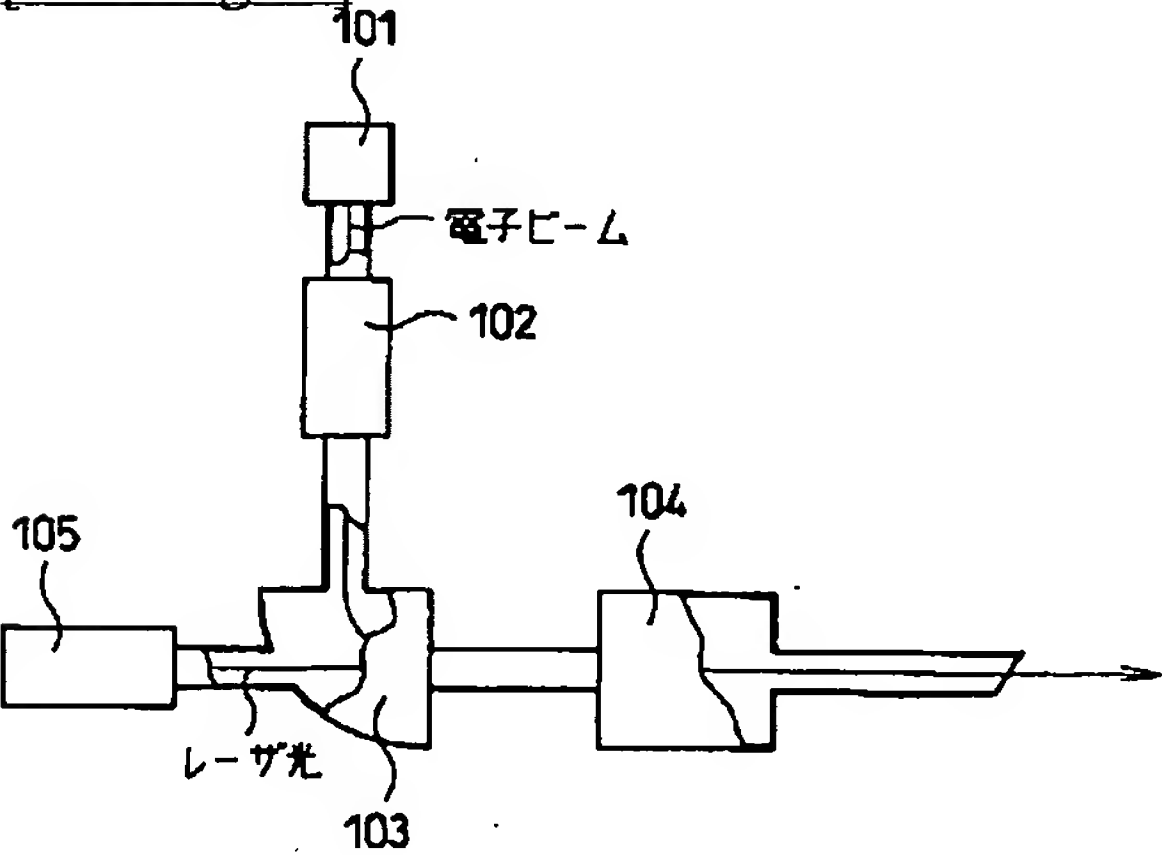
[Drawing 8]



[Drawing 9]

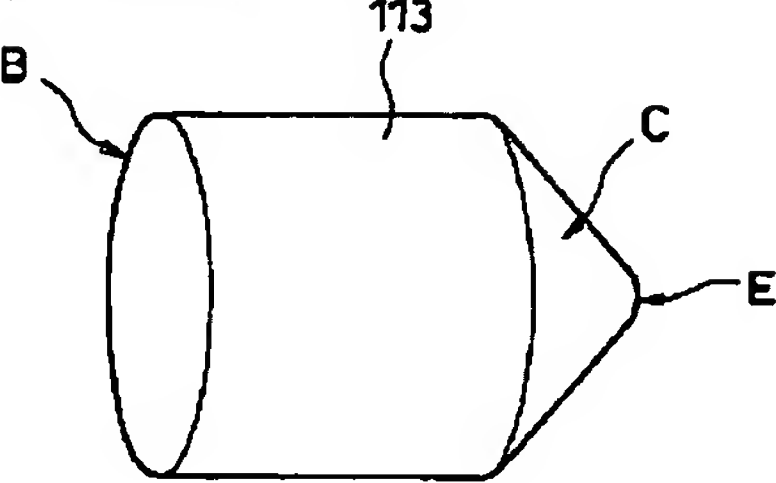


[Drawing 10]

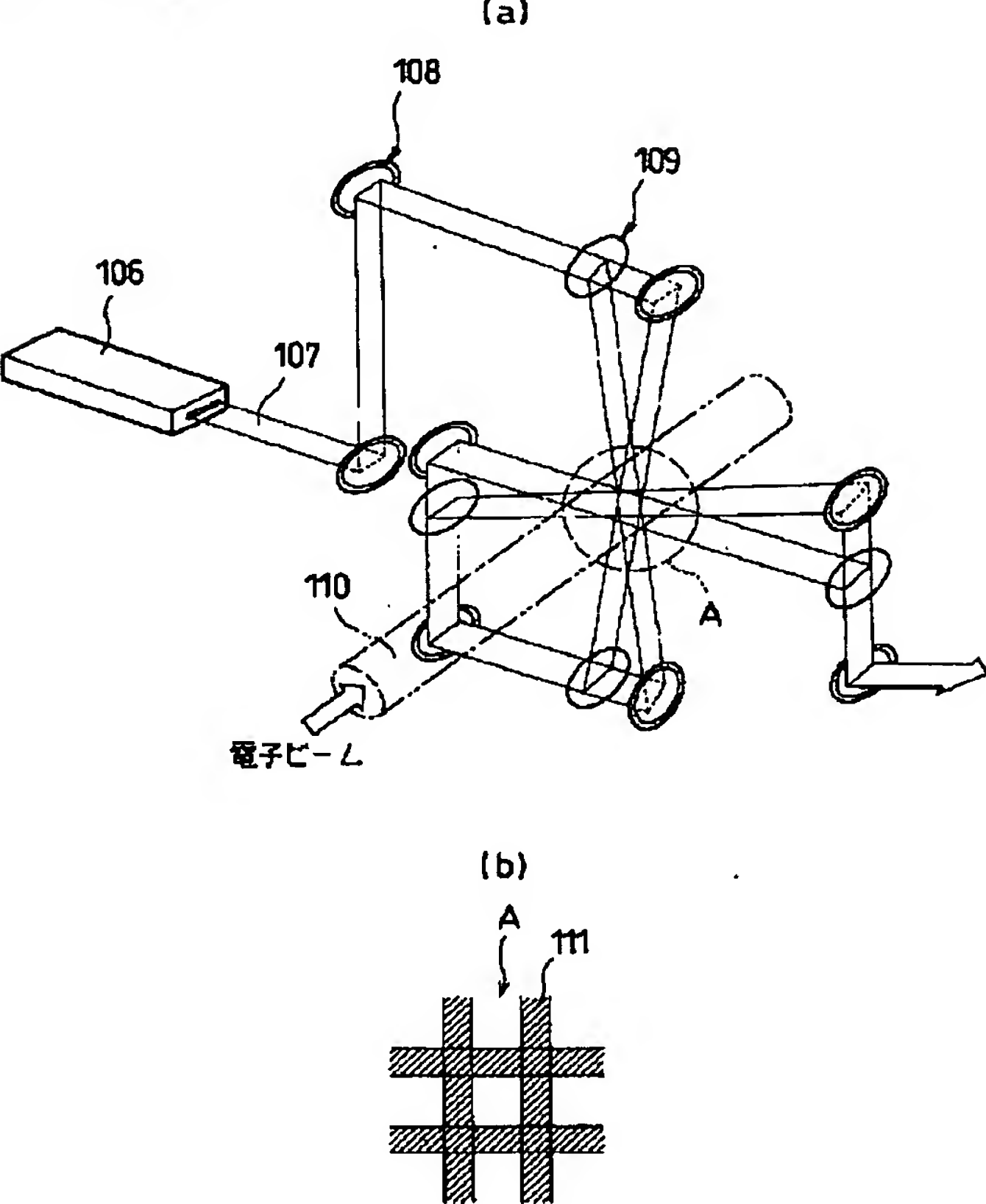




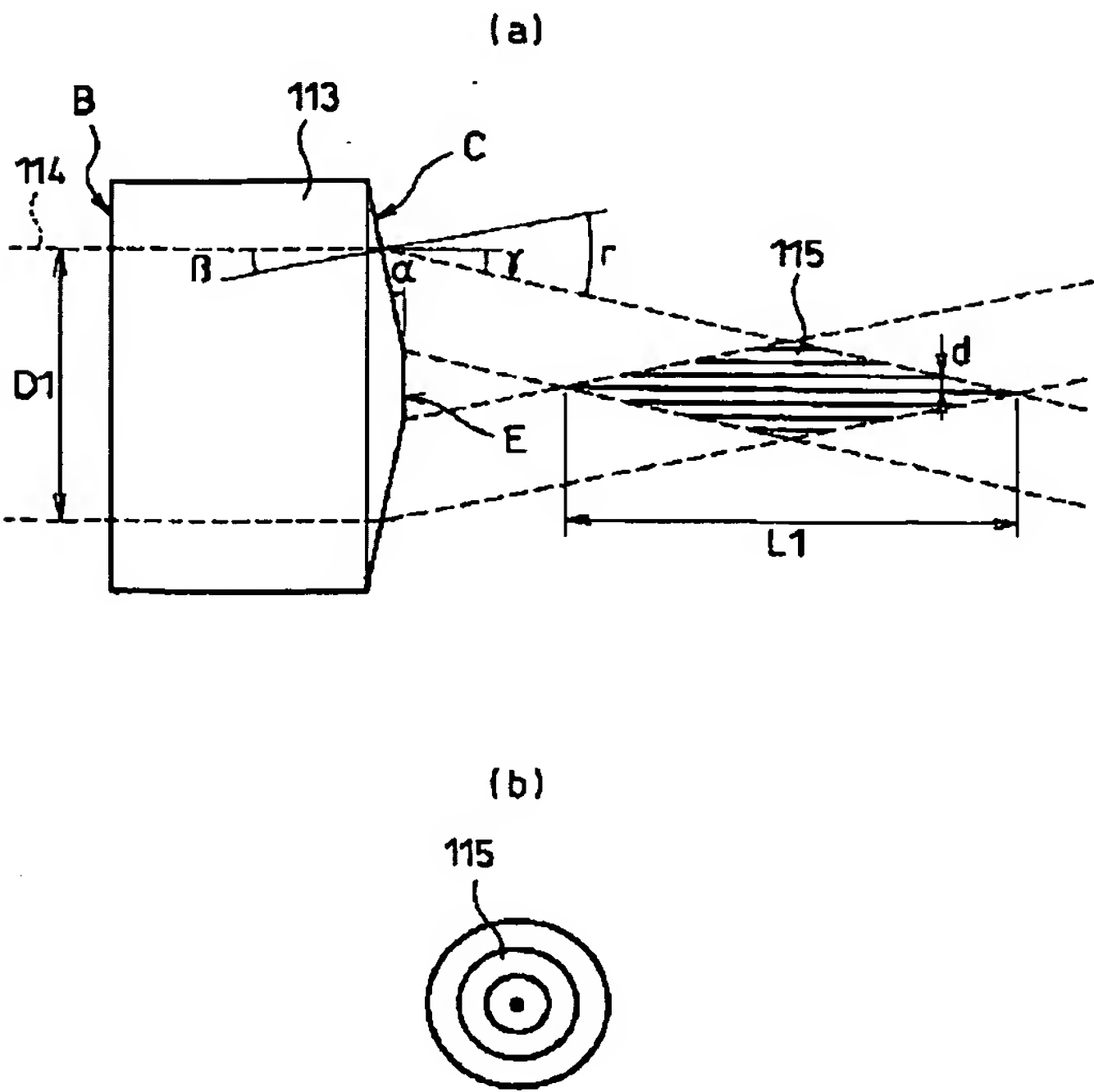
[Drawing 12]



[Drawing 11]



[Drawing 13]



[Translation done.]

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-156709

(43)Date of publication of application : 30.05.2003

(51)Int.Cl.

G02B 27/09  
G02B 5/04  
H05H 1/24  
// G21K 1/00  
H05H 15/00

(21)Application number : 2001-354200

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 20.11.2001

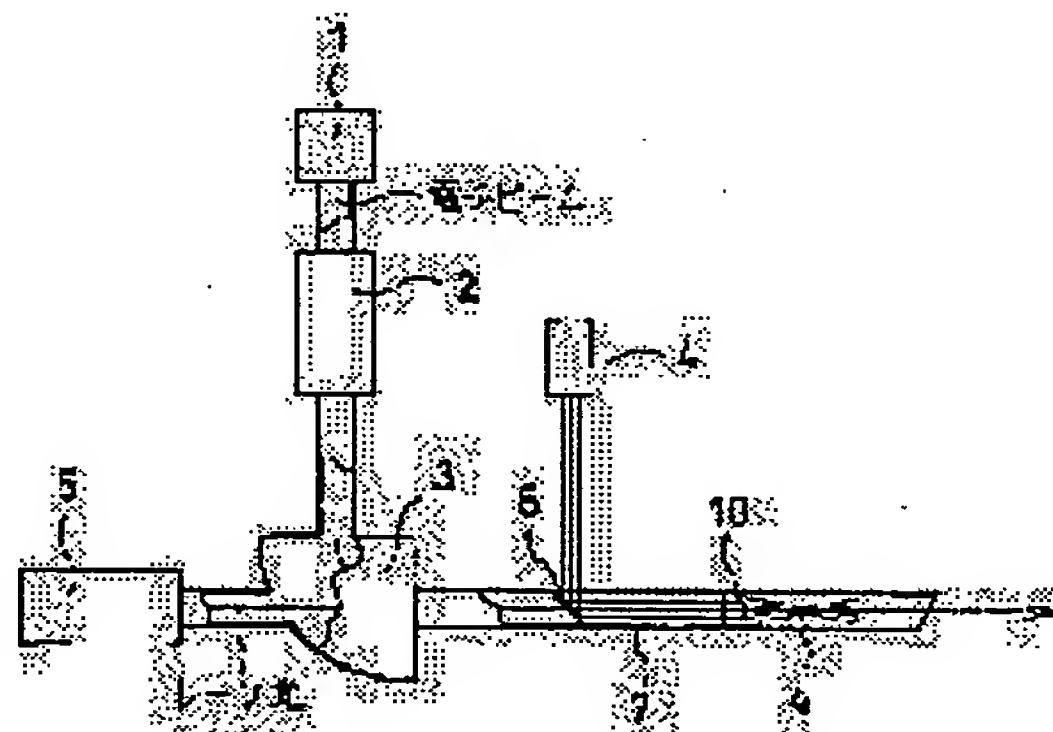
(72)Inventor : HASHIMOTO KIYOSHI

## (54) LASER BEAM DEVICE

### (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To prevent the occurrence of interference on an optical axis with simple constitution.

SOLUTION: A thin-film member 11 is deposited on the counter surface of an incident surface B of a prism 10. An optical path difference of a half wavelength is formed between a laser beam transmitted through this thin-film member 11 and a laser beam past a region 12 where the thin-film member 11 is not deposited. As a result, the occurrence of the interference on the optical axis is averted.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2003-156709  
(P2003-156709A)

(43)公開日 平成15年5月30日(2003.5.30)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームト(参考)
G 0 2 B 27/09		G 0 2 B 5/04	F 2 G 0 8 5
	5/04	H 0 5 H 1/24	2 H 0 4 2
H 0 5 H 1/24		G 2 1 K 1/00	E
// G 2 1 K 1/00		H 0 5 H 15/00	
H 0 5 H 15/00		G 0 2 B 27/00	E
審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 8 頁)			

(21)出願番号 特願2001-354200(P2001-354200)

(22)出願日 平成13年11月20日(2001.11.20)

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72)発明者 橋本 清

神奈川県川崎市川崎区浮島町2番1号 株

式会社東芝浜川崎工場内

(74)代理人 100083231

弁理士 紋田 誠

Fターム(参考) 2G085 AA20 BA04 BE09 DA10

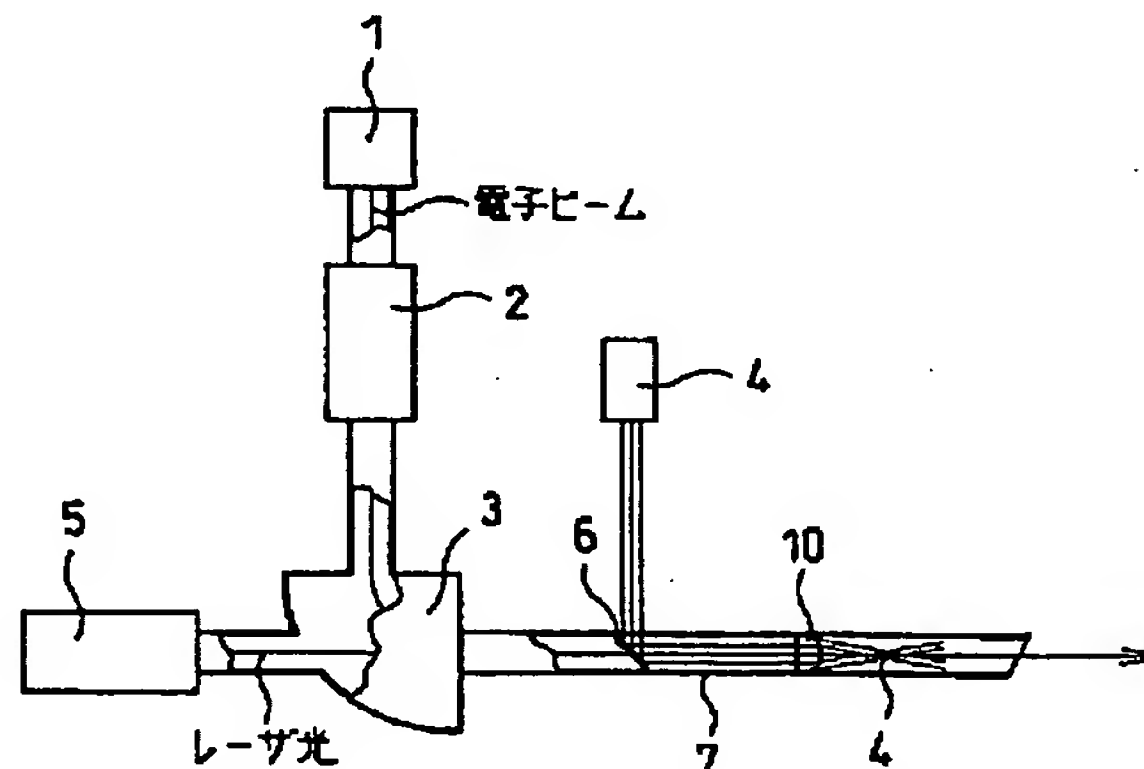
2H042 AA03 AA07 AA21 CA12 CA17

(54)【発明の名称】 レーザ光装置

(57)【要約】

【課題】 簡便な構成で光軸上で干渉が起きないようにする。

【解決手段】 プリズム10における入射面Bの反面に薄膜部材11を被着する。そして、この薄膜部材11を通過したレーザ光と薄膜部材11が被着されていない領域12を通過したレーザ光との間に半波長の光路差を形成させる。これにより、光軸上で干渉が起きないようにする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 出射面が円錐又は円錐台形状に形成された略円筒状プリズムの入射面からレーザ光を入射させ前記出射面から出射させることにより、レーザ光が光軸を中心とした円筒状の干渉縞を形成するようにして、当該干渉縞に応じたエネルギー密度で感光性樹脂や被電離気体等のレーザ光被照射部材にエネルギーを与えてなるレーザ光装置において、

レーザ光が通過する前記プリズムの所定領域に光路差形成手段を設けて、当該光路差形成手段が設けられた領域を通過するレーザ光と該領域以外の領域を通過するレーザ光との間に光路差を生じさせることにより、光軸上で干渉縞が形成されないようにしたことを特徴とするレーザ光装置。

【請求項2】 前記光路差形成手段が、前記プリズムにおける入射面の一部に薄膜部材を被着することにより形成されていることを特徴とする請求項1記載のレーザ光装置。

【請求項3】 前記光路差形成手段が、円盤状の透明部材と、該透明部材に被着された薄膜部材とにより形成されていることを特徴とする請求項1記載のレーザ光装置。

【請求項4】 前記プリズムは、前記円筒状プリズムが有する屈折率とは異なる屈折率を有する部材であることを特徴とする請求項2又は3記載のレーザ光装置。

【請求項5】 前記光路差形成手段が、前記プリズムにおける入射面の一部に設けられた段差であることを特徴とする請求項1記載のレーザ光装置。

【請求項6】 前記薄膜部材又は段差が光軸を中心とした扇状に形成されると共に、これらが前記入射面を奇数の2倍数で等分割するように交互に設けられていることを特徴とする請求項2乃至5いずれか1項記載のレーザ光装置。

【請求項7】 前記光路差形成手段が、厚みをレーザ光の半波長に相当するように設定した半円盤状の透明部材であることを特徴とする請求項1記載のレーザ光装置。

【請求項8】 前記光路差形成手段が、光軸の周りに1周するとレーザ光の半波長に等しい段差ができるように前記プリズムの入射面をスパイラル状の傾斜面により形成されていることを特徴とする請求項1記載のレーザ光装置。

【請求項9】 前記プリズムの光軸に貫通孔を設けたことを特徴とする請求項1乃至8いずれか1項記載のレーザ光装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、感光性樹脂を感光させて種々の造形を形成するマイクロマシニングや相対論的電子ビーム加速器の光導波路(optical guiding)の形成に用いられる航跡場の発生等にお

いて使用されるレーザ光装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】レーザは干渉縞を形成することにより微細パターン及び種々形状のパターンが容易に得られる。

【0003】このためレーザ光装置は、かかる干渉特性等を利用して種々の形状に感光性樹脂を感光させることにより造形するマイクロマシニング等の分野において利用されている。

【0004】またレーザ光装置は、レーザでプラズマを励起し、その際に発生する航跡場を利用して電子を加速する相対論的電子ビームの加速器等にも利用されている。

【0005】一般に荷電粒子を加速するには、当該荷電粒子を電場中に置けばよく、その際効率的に電場を発生させるために航跡場が利用されている。航跡場による加速原理については、例えば、杉原、西田、小方編著：超小型加速器、アイピーシー（東京）、1998年に詳しいが、概略は以下のとおりである。

【0006】レーザによりプラズマを発生させると後方にプラズマ波が発生して航跡場を生じる。このプラズマ波の加速位相を利用して電子を加速、即ち航跡場により電子を加速する方法が航跡場加速である。

【0007】航跡場を利用すると大きな加速電場が得られるので、加速器を大幅に小型化できる技術として期待されている。例えば、加速器の単位長当たりのエネルギー利得である加速勾配は、マイクロ波空洞方式では約100MeV/m程度であるが、航跡場を用いると数GeV/m～数十GeV/m程度が得られるとされている。

【0008】このようなレーザ励起航跡場を利用する相対論的電子ビーム加速器の概略構成を図10に示し説明する。

【0009】図10で電子銃101から引き出された電子は、マイクロ波空洞102で加速された後、偏向磁石103で向きが変えられ、プラズマが満たされたプラズマ加速部104に入射する。

【0010】プラズマ加速部104には、レーザ発振器105からのレーザ光が入射し、当該レーザ光でプラズマ加速部104中の被電離気体が励起されてプラズマ化し航跡場が発生する。そして、この航跡場により電子が力を受けて加速される。

【0011】このとき高速電子を得るためには、如何に効率的に被電離気体を励起して高電場の航跡場を発生させるか、如何に長時間にわたり電子と航跡場とを相互作用させるかが重要となり、かかる要求を満たすように励起条件を設定しなければならない。

【0012】即ち、高電場を得るためにはレーザ強度を強くする必要があり、このためレーザ光をレンズ等を用いて集束させることが行われるが、レーザ光を小さなスポットに絞れば絞るほどその発散角が大きくなるので、光軸方向でのレーザ強度の強い領域が短くなってしま

う。

【0013】従って、部分的に大きな航跡場を発生させても、それを長時間にわたり発生させることが困難になり得られる加速エネルギーも小さくなってしまふ。

【0014】このような観点から、レーザ光が通過する光路の光軸近傍の屈折率を大きくし、当該光軸から離れるに従い（周辺に行くに従い）屈折率を小さくすることで光ファイバーにおける導光原理に従った光導波路（optical guiding）を形成する方法が提案されている。

【0015】一般に、レーザ光の角周波数を $\omega$ 、屈折率を $N$ とするとプラズマ密度 $n$ との間には下式が成立つ。

$$N = [1 - (\omega_p / \omega)^2]^{1/2} \quad \dots (式1)$$

$$\omega_p = [(n * e^2) / (\epsilon_0 * m)]^{1/2} \dots (式2)$$

ここで、 $\omega_p$ はプラズマ角周波数、 $e$ は素電荷、 $\epsilon_0$ は真空の誘電率、 $m$ は電子の静止質量である。

【0016】これらの式1、式2より、プラズマ密度 $n$ が増大するとプラズマ角周波数 $\omega_p$ が大きくなるので屈折率 $N$ は小さくなることがわかる。

【0017】従って、光軸部分のプラズマ密度を小さくし（屈折率を大きくする）、周辺部分のプラズマ密度を大きくする（屈折率を小さくする）ことにより光導波路が形成されレーザの発散を抑えることが可能となる。

【0018】このような状態のプラズマ密度分布を作る方法として、鈴木等はレーザ光の干渉と共鳴イオン化を利用した方法を提案している（鈴木、池畑：J A E R I - R e s e a r c h 95-035, 1995）。

【0019】鈴木等の提案した方法の概略構成を図11(a)に示す。この方法では、電子ビーム（加速するための電子）が通過する領域にプラズマを形成するための被電離気体110が供給されている。図11(a)では、当該被電離気体110が供給されている領域を点線の円柱で示している。

【0020】そして、この領域周辺に複数の全反射ミラー108及び半透過ミラー109を配設しレーザ発振器106からのシート状に拡張されたレーザ光107を反射させて図11(b)に示すような矩形状の干渉縞111を形成し、当該干渉縞111のパターンに応じたエネルギー分布で被電離気体110を励起する。

【0021】なお、図11(b)は電子ビームの直進方向からレーザ光が交わる領域Aを見た際に、当該領域Aに形成される干渉縞111を模式的に示した図で、斜線領域がプラズマの発生領域（密度の高い領域）を示している。

【0022】しかし、この構成では発振したレーザ光をシート状のレーザ光107に引き延ばして使用するためレーザ強度の低下が生じ、かつ、その幅及び奥行きともに短いためレーザ光のエネルギー利用効率を高くできない問題がある。

【0023】また、干渉縞111を形成するためにミラ

一等の多くの光学素子が用いられるが、これらの光軸合せは10 $\mu$ m程度の精度で調整する必要があるため、慎重な設定及び調整が必要とされ作業性が悪く、かつ、容易に光軸ずれ等を起す問題がある。

【0024】このような問題に対処するために、電子ビームの軸方向からレーザ光を入射して光導波路を形成し、レーザ光の減衰距離と光導波路の長さとを同程度に選ぶことによりレーザ光のエネルギー利用効率を高め、かつ、レーザ光の干渉を利用することにより光軸部分のプラズマ強度を大きくすることができるアキシコンと称される光学素子の利用が提案されている。

【0025】図12はかかるアキシコン113の斜視図であり、図13はこのアキシコンを用いた時のレーザ光の干渉状態を示す図である。なお、図13(a)は干渉縞115の形成状況を示し、図13(b)は光軸からみた当該干渉縞115の様子を示している。

【0026】当該アキシコン113は、入射面Bが平面に形成され、出射面Cが円錐台形状に形成されている。また、当該出射面Cには凹凸が設けられて光が通過しない平坦部Eが形成されている。

【0027】このような構成で、光軸に平行に入射したレーザ光114は、出射面Cで光軸方向に偏向して、軸対称の円筒状干渉縞115が発生する。このとき、光軸に沿った方向にも干渉縞が形成され、その軸方向の長さL1は、図13(a)のように偏向した光が交差する領域の長さとなる。

【0028】そこで、入射するレーザ光の直径をD1、出射面Cの傾斜角を $\alpha$ 、屈折角を $r$ とすると、アキシコン113から真空側への入射角 $\beta$ は傾斜角 $\alpha$ と等しくなる（ $\beta = \alpha$ ）。

【0029】従って、レーザ光の波長が $\lambda$ のとき干渉縞115の間隔 $d$ は、

$$d = \lambda / (2 * \sin(r)) \quad \dots (式3)$$

となる。

【0030】ここで、 $r$ は光軸と偏向したレーザ光との角度で交差角と呼ばれ、アキシコン113の屈折率 $M$ との間に下記の近似的が成立つ。

$$r = \beta * (M - 1) \quad \dots (式4)$$

【0031】例えば、アキシコン113を合成石英で形成し、その屈折率 $M$ が $M = 1.46$ 、レーザ光の波長 $\lambda$ が $\lambda = 442 \text{ nm}$ であり、傾斜角 $\alpha$ が $\alpha = 3.2$ 度とすると、干渉縞の間隔 $d$ は $d = 17 \mu\text{m}$ となる。また、傾斜角 $\alpha$ を $\alpha = 0.54$ 度とすると、干渉縞の間隔 $d$ は $d = 100 \mu\text{m}$ となる。

【0032】従って、光軸に垂直な方向に形成される干渉縞によるプラズマで光導波路が形成され、また光軸に沿って形成された干渉縞によるプラズマで航跡場が形成されて、これらが一度に、かつ、調整作業等を必要とせずに利用可能になる。

【0033】

10

20

30

40

50



【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記構成のアキシコン113を用いて光導波路と航跡場とのプラズマを発生させるためのレーザ光は、一般に異なる特性であるため、同一のレーザ光によりこれらを一度に発生させることが困難である。

【0034】このため、別々のレーザ光を用いてそれぞれのプラズマを発生させることが考えられるが、この場合には光導波路形成用のレーザ光と、航跡場形成用のレーザ光とが光軸上で干渉する場合がある。

【0035】一方、マイクロマシニングで同心円のパターンを形成する際に、光軸部分の干渉縞を除きたいが、上述したアキシコン113を用いると光軸にも干渉縞が形成されてしまう不都合がある(図13(b)参照)。

【0036】そこで、本発明は、簡便な構成で光導波路形成用のレーザ光と航跡場形成用のレーザ光とを用いてもこれらが干渉しないようにすると共に光軸上に干渉縞が生じないようにして利便性の高いレーザ光装置を提供することを目的とする。

【0037】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、請求項1にかかる発明は、出射面が円錐又は円錐台形状に形成された略円筒状プリズムの入射面からレーザ光を入射させ出射面から出射させることにより、レーザ光が光軸を中心とした円筒状の干渉縞を形成するようにして、当該干渉縞に応じたエネルギー密度で感光性樹脂や被電離気体等のレーザ光被照射部材にエネルギーを与えてなるレーザ光装置において、レーザ光が通過するプリズムの所定領域に光路差形成手段を設けて、当該光路差形成手段が設けられた領域を通過するレーザ光と該領域以外の領域を通過するレーザ光との間に光路差を生じさせることにより、光軸上で干渉縞が形成されないようにしたことを特徴とする。

【0038】請求項2にかかる発明は、光路差形成手段が、プリズムにおける入射面の一部に薄膜部材を被着することにより形成されていることを特徴とする。

【0039】請求項3にかかる発明は、光路差形成手段が、円盤状の透明部材と、該透明部材に被着された薄膜部材とにより形成されていることを特徴とする。

【0040】請求項4にかかる発明は、プリズムは、円筒状プリズムが有する屈折率とは異なる屈折率を有する部材であることを特徴とする。

【0041】請求項5にかかる発明は、光路差形成手段が、プリズムにおける入射面の一部に設けられた段差であることを特徴とする。

【0042】請求項6にかかる発明は、薄膜部材又は段差が光軸を中心とした扇状に形成されると共に、これらが入射面を奇数の2倍数で等分割するように交互に設けられていることを特徴とする。

【0043】請求項7にかかる発明は、光路差形成手段が、厚みをレーザ光の半波長に相当するように設定した

半円盤状の透明部材であることを特徴とする。

【0044】請求項8にかかる発明は、光路差形成手段が、光軸の周りに1周するとレーザ光の半波長に等しい段差ができるようにプリズムの入射面をスパイラル状の傾斜面により形成されていることを特徴とする。

【0045】請求項9にかかる発明は、プリズムの光軸に貫通孔を設けたことを特徴とする。

【0046】

【発明の実施の形態】本発明の第1の実施の形態を図を参照して説明する。図1は、本発明にかかるレーザ光装置を適用した航跡場電子加速器の概略構成を示す図である。

【0047】無論、本発明にかかるレーザ光装置は電子加速器に適用することが要件となるものではなく、マイクロマシニング等の種々の分野に適用できることは言うまでもない。

【0048】図1に示す航跡場電子加速器は、電子を生成させて出射する電子銃1、当該電子銃1からの電子ビームを加速するRF空洞2、電子ビームを偏向させる偏向磁石3、光導波路を発生させるためのレーザを出射する導波路用レーザ発振器4、航跡場を発生させるためのレーザ光を出射する航跡場用レーザ発振器5、導波路用レーザ発振器4からのレーザを航跡場用レーザ発振器5からのレーザと同一光軸になるように反射するミラー6、電子ビームが航跡場により加速される航跡場加速器7、航跡場加速器7に配設されたプリズム10等を有している。

【0049】なお、ミラー6及びプリズム10の中央部分には、貫通孔が設けられて電子ビーム等が通過できるようになっている。

【0050】但し、マイクロマシニング等のように電子ビーム等を用いない場合には当該貫通孔は不要になる。

【0051】また、航跡場加速器7には図示しないガス供給系により被電離気体が満たされている。

【0052】そして、電子銃1から引き出された電子ビームはRF空洞2で加速され、偏向磁石3で方向を変えられてミラー6及びプリズム10に設けられた貫通孔を通過して航跡場加速器4に入射する。

【0053】また、航跡場用レーザ発振器5からのレーザ光は電子ビームに沿ってミラー6を通過してプリズム10に入射し、航跡場加速器4に入射する。

【0054】一方、導波路用レーザ発振器4からのレーザ光は、ミラー6で反射されて電子ビームに沿ってプリズム10に入射し、航跡場加速器4に入射する。

【0055】プリズム10は、図2に示すようにレーザ光の入射面Bが平面に形成され、出射面Cが円錐面に形成されると共に、中心には貫通孔13が形成されている。

【0056】また、入射面Bの半円部には、薄膜部材11がコーティング、接着等の方法により設けられて、未

着部分12に入射したレーザ光との間に半波長の光路差が生じるようになっている。

【0057】なお、薄膜部材11としては、レーザ光を等してプリズム10が有する屈折率と異なるものであれば何でもよい。

【0058】即ち、例えばレーザ光の波長が442nm、プリズム10が屈折率1.5の材料で製作されていたとすると、この薄膜部材11を屈折率1.62の材料で製作した場合には、およそ30μmの厚みとなる。なお、上記例に挙げた屈折率を有するガラス材はいずれも一般的に入手できるものである。

【0059】これにより円周方向に180度の位相差を持つレーザ光は、出射した際に相互に半波長の位相差が生じて光軸上で干渉を起すことがなくなり、図3(b)に示すように、図13(b)に示す干渉縞115と明暗が反転したパターン14が得られる。

【0060】従って、別々のレーザ光を用いても光軸での干渉を発生させることなく光導波路と航跡場との発生に用いられるプラズマを同時に生成することができ、これらの生成条件が独立に設定できるようになると共に、操作性が高く、かつ、高加速が可能な航跡場電子加速器を容易に構成することができるようになる。

【0061】また、マイクロマシニングで同心円のパターンを形成する際に、上述した航跡用レーザ発振器からのレーザ光を停止すれば、光軸部分を除いた同心円形状のパターンを形成することができるようになって、光軸部分の干渉縞を除きたい要求に対しても容易に対応することができ、利便性が著しく向上する。

【0062】なお、薄膜部材11は入射面Bの半円部に設けたが、本発明はこれに限定されるものではなく奇数の2倍数(奇数の2倍の数の意味である)であればよく、例えば図4に示すように6分割としてもよい。

【0063】次に、本発明の第2の実施の形態を図を参照して説明する。なお、上記実施の形態と同一構成に関しては同一符号を用い説明を適宜省略する。

【0064】先の、実施の形態では、プリズム10の入射面Bに薄膜部材11をコーティングや接着等により形成して未蒸着部分12を通過するレーザ光との間に光路差を発生させた。

【0065】しかし、光路差を発生させる方法は、このように薄膜部材11をコーティングや接着等する方法に限定されず、図5～図7に示すようにプリズム10の形状を変化させてもよく、また図8及び図9に示すように薄膜部材11がコーティングや接着等された透明板を入射面Bの前に配置しても良い。

【0066】図5に示すプリズム10は、入射面Bの半円部にステップ状の段差15を設けたもので、この段差15の高さは半波長の光路差が発生する高さ(10)に設定されている。従って、当該プリズム10から出射したレーザ光には半波長の位相差が生じて光軸上で干渉を起すこと

がなくなる。

【0067】なお、段差15としては、例えばレーザ光の波長を約442nmとした場合、約0.5μm程度が例示できる。

【0068】この場合も、段差15をつける領域の分割は任意で、奇数の2倍数であればよく、例えば図6に示すように6分割としてもよい。

【0069】図7に構成は、ステップ状の段差を設ける代わりに、入射面Bをスパイラルの傾斜面としたもので、360度回転した際に生じる段差16の高さが半波長になるように設定されている。

【0070】一方、図8はプリズム10の入射面Bに近接して透明板17を配置したもので、当該透明板17には薄膜部材11がコーティングや接着等された領域及びコーティングや接着されていない領域が交互に形成されている。

【0071】この場合の領域分割も任意に行えるが、奇数の2倍数であればよいことは言うまでもない。

【0072】また、図9はプリズム10の入射面Bに近接して半円状の透明板18を配置したもので、当該透明板18の厚みがレーザ光の半波長になるように設定されている。

【0073】このような構成によっても第1の実施の形態と同様の効果を得ることが可能になる。

【0074】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、プリズムの所定領域に光路差形成手段を設けて、当該光路差形成手段が設けられた領域を通過するレーザ光と該領域以外の領域を通過するレーザ光との間に光路差を生じさせることにより、これらのレーザ光が光軸上で干渉縞を形成しないようにしたので、別々のレーザ光を用いても光軸での干渉を発生させることなく光導波路と航跡場用のプラズマを同時に生成することが可能になり、これらのレーザ光を独立設定できるようになると共に、操作性が高く、かつ、高加速が可能な航跡場電子加速器を容易に構成することができるようになる。

【0075】また、マイクロマシニングで同心円のパターンを形成する際に、航跡用レーザ発振器からのレーザ光を停止すれば、光軸部分を除いた同心円形状のパターンを形成することができるようになり、容易に光軸部分の干渉縞を除きたい要求に対しても対応することができ、利便性が著しく向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明にかかるレーザ光装置を適用した航跡場電子加速器の概略構成を示す図である。

【図2】第1の実施の形態の説明に適用されるプリズムの斜視図である。

【図3】図2のプリズムによる干渉縞の発生状況を示す図である。

【図4】図2の構成に代るプリズムの斜視図である。

【図5】第2の実施の形態の説明に適用されるプリズムの斜視図である。

【図6】図5の構成に代るプリズムの斜視図である。

【図7】図5の構成に代るプリズムの斜視図である。

【図8】図5の構成に代るプリズムの斜視図である。

【図9】図5の構成に代るプリズムの斜視図である。

【図10】従来の技術の説明に適用される航跡場電子加速器の概略構成を示す図である。

【図11】従来の光導波路形成方法の一例を示す図である。

【図12】従来のアキシコンの斜視図である。

\*【図13】図11に示すアキシコンによる干渉縞の発生状況を示す図である。

【符号の説明】

10 プリズム

11 薄膜部材

12 未蒸着部分

13 貫通孔

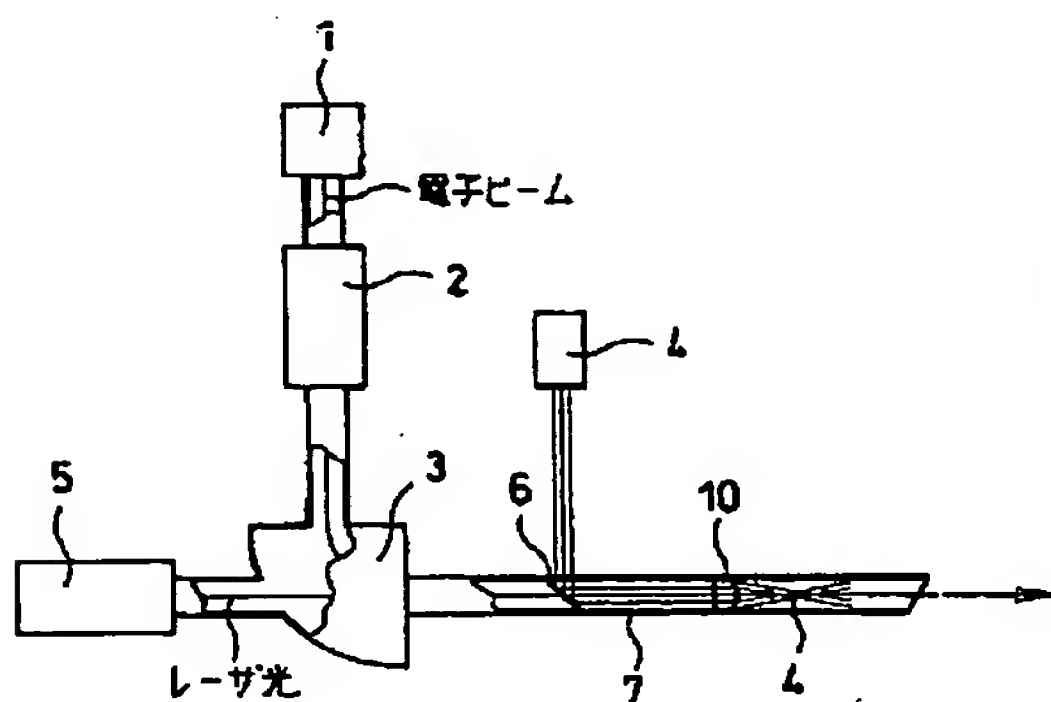
14 干渉縞

15、16 段差

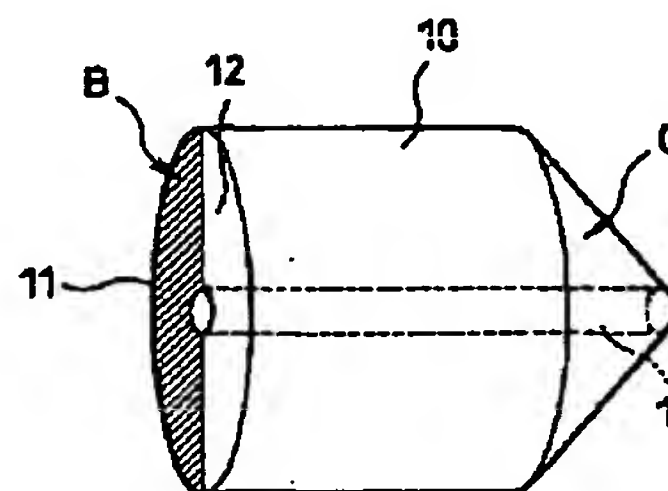
10 17、18 透明板

\*

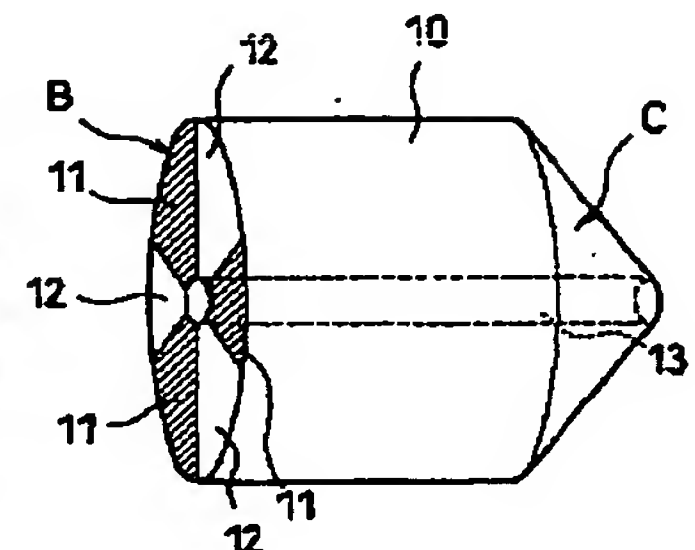
【図1】



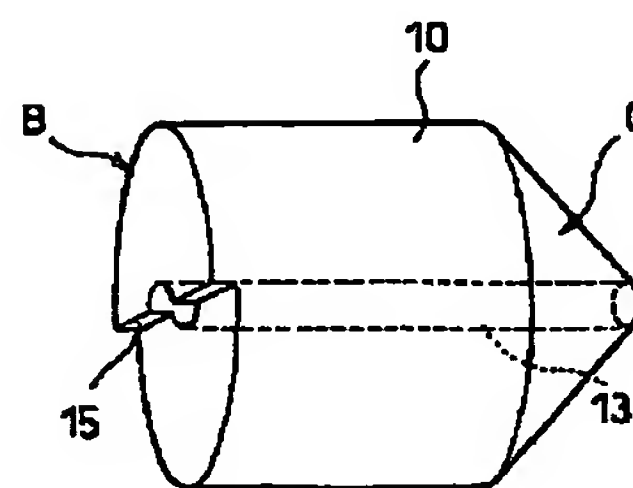
【図2】



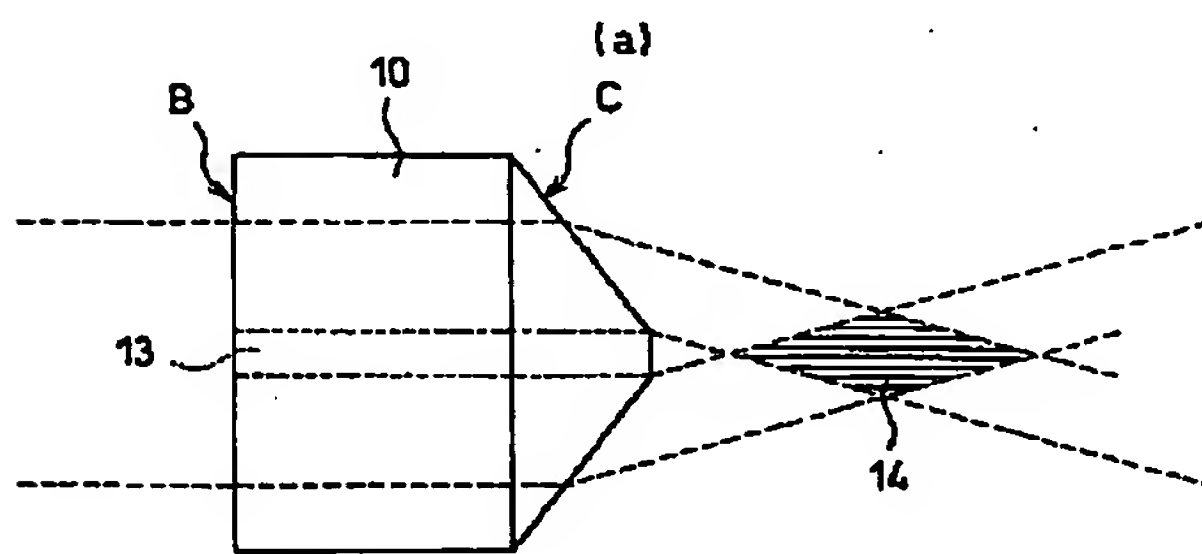
【図4】



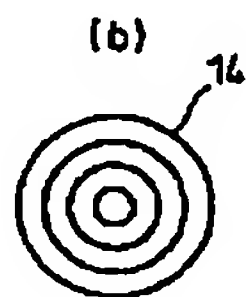
【図5】



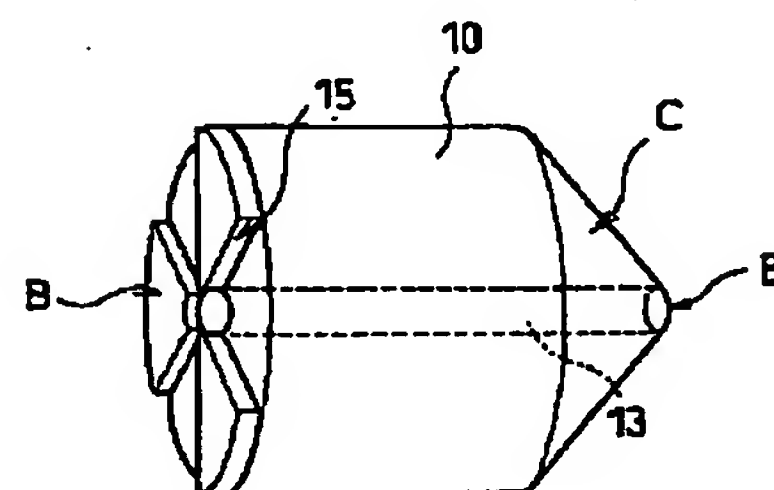
【図3】



(b)

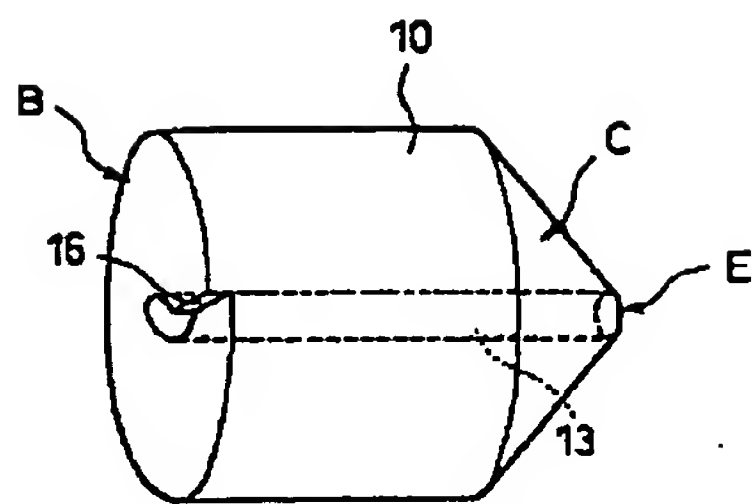


【図6】

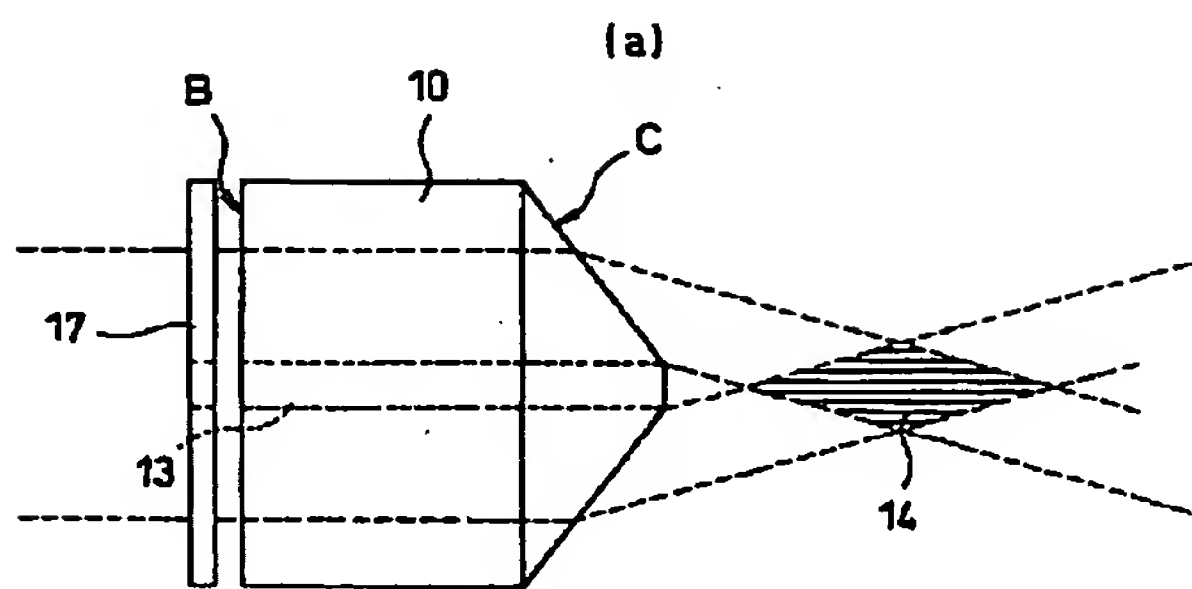




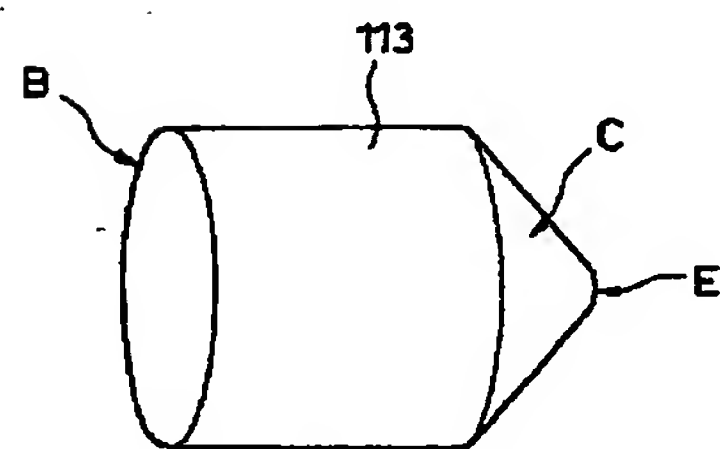
【図7】



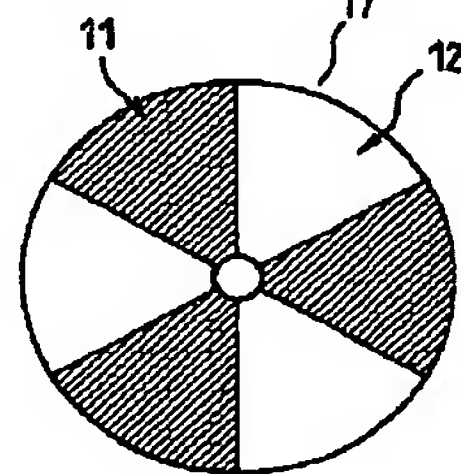
【図8】



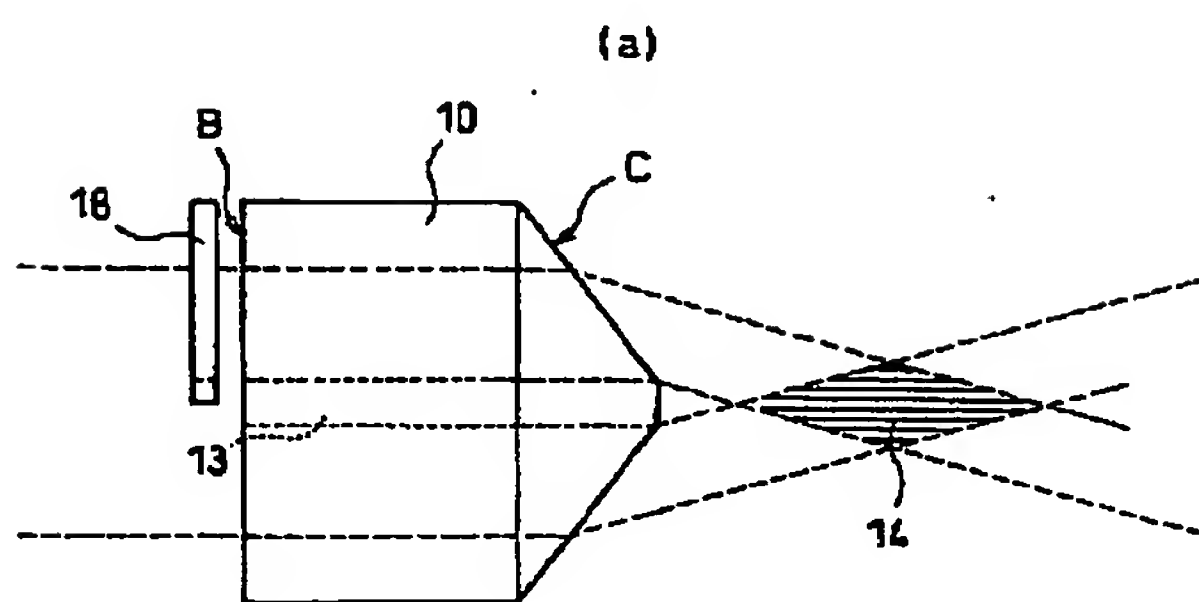
【図12】



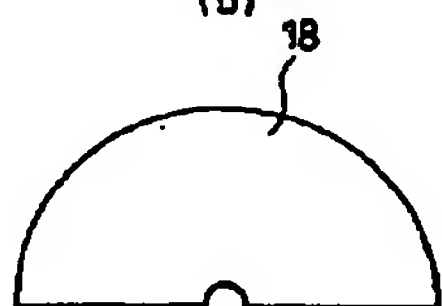
(b)



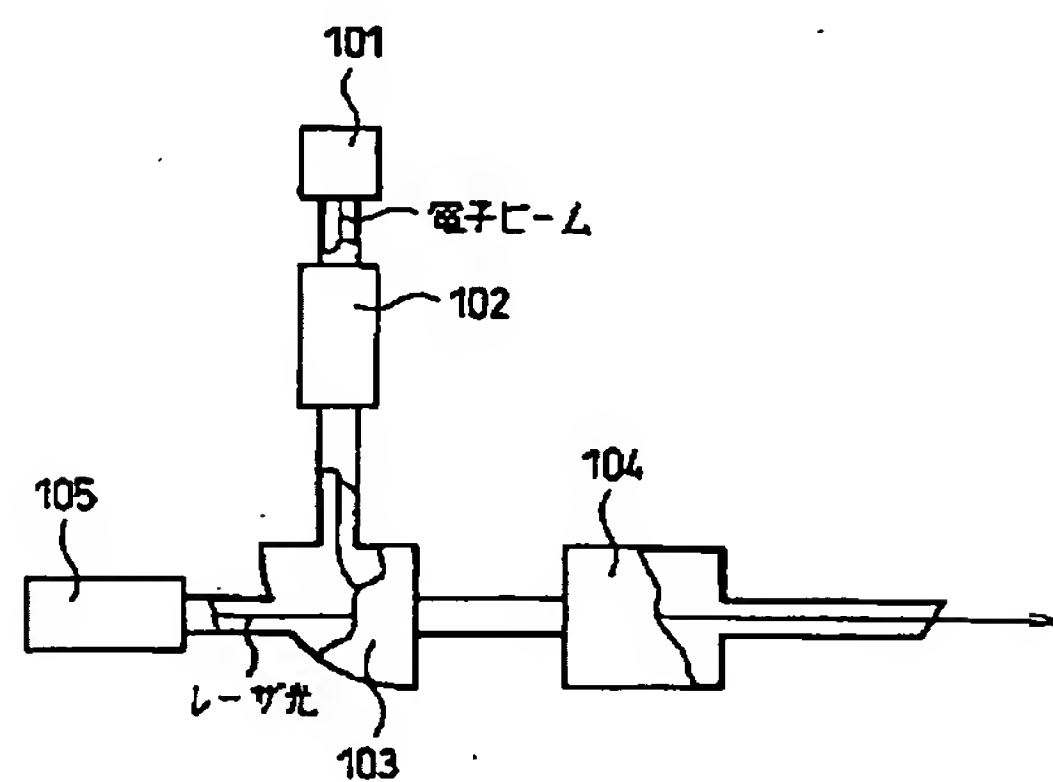
【図9】



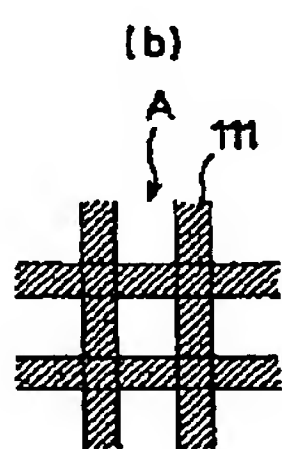
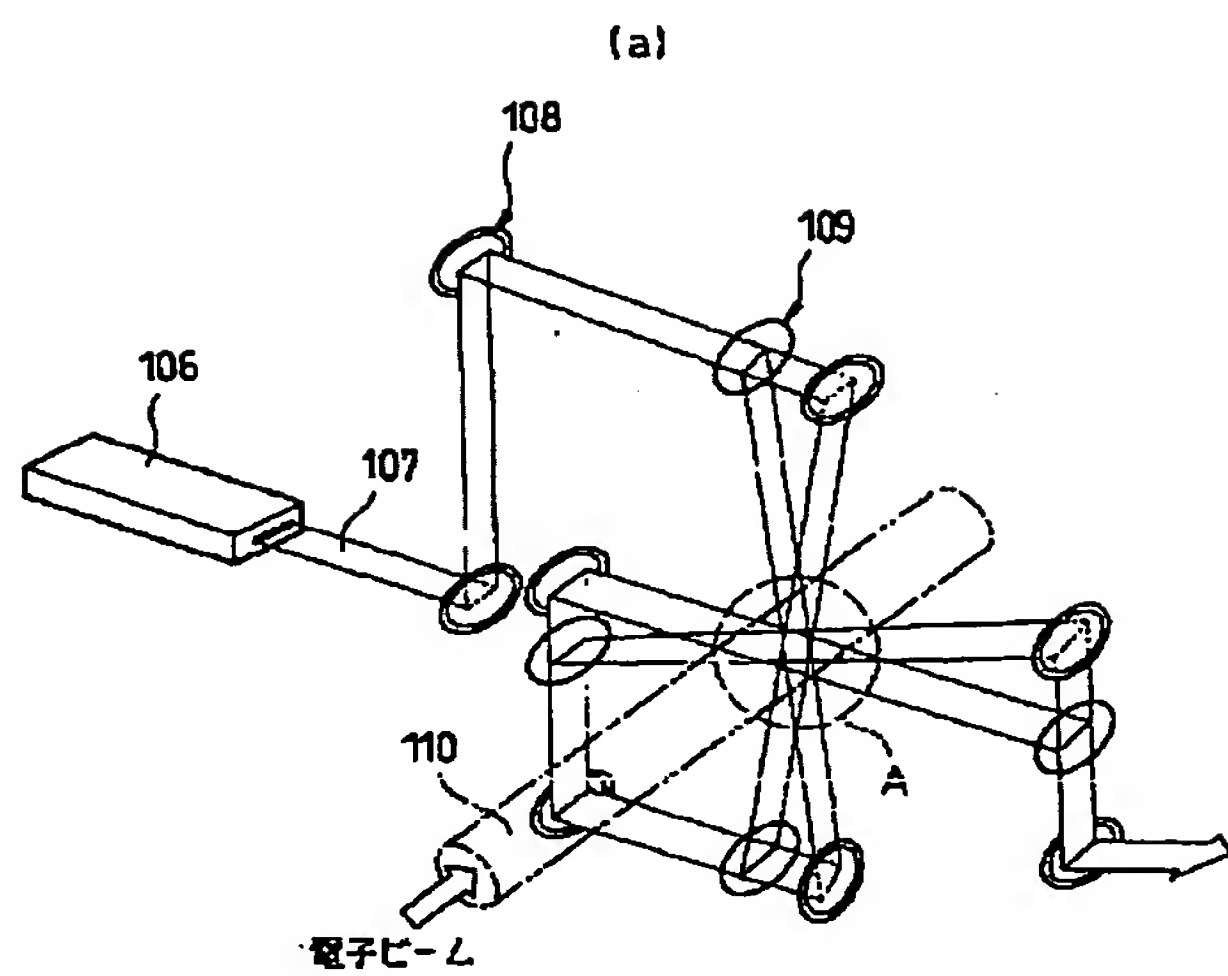
(b)



【図10】



【圖 11】



【圖 13】

